

6. Monitoring és modellezés a fenntartható régió kialakításában

Az aszály a legjelentősebb környezeti veszélyek közé tartozik, és komplex jellegéből kifolyólag a legkevésbé ismert azok közül. Előfordulhat igen kis kiterjedésű területen és akár kontinens méretű problémát is jelenthet. Időtartamát tekintve néhány héttől akár egy egész évtizedet is meghatározhat, melyet műszeres mérésekkel és paleoklíma rekonstrukciókkal igazoltak. Ezen összetett jelleg miatt az előrejelző rendszer kialakítása is sokkal bonyolultabb, mint a többi hidro-meteorológiai veszély esetében (Pulwarty és Sivakumar 2014).

Mivel az aszály évről évre igen jelentős gazdasági, ökológiai és társadalmi problémák kialakulásához járul hozzá, már a kilencvenes évek elején igény bontakozott ki a jelenség monitorozására és előrejelzésére vonatkozóan (1994 United Nations Convention to Combat Desertification). Azóta regionális és nemzetközi szinten is számos kísérlet született. Új törekvés jelenleg, hogy legyen egy olyan előrejelző rendszer (Global Drought Information System, Pozzi et al. 2013), ahol havi csapadék deficit térképek elérhetőek globális szinten. Európára vonatkozóan a European Drought Observatory System (EDO) a legteljesebb aszály előre jelző rendszer. Dél-kelet Európára vonatkozóan a Dél-kelet Európai Aszály Központ (DMCSEE) tűzte ki célul egy regionális előrejelző rendszer kidolgozását.

A korai figyelmeztető rendszer arról ad információt, hogy milyen kiterjedésű és mértékű hatás várható (és annak kivédésére, mérséklésére milyen lehetőségek állnak rendelkezésre). A rendszer alapja az adatok integrációja és azok feldolgozásához modellek felépítése. Alapvetően két modell típust lehet ezzel kapcsolatban elkülöníteni: a numerikust és a statisztikait. Az

6. Monitoring i modeliranje u formiranju održive regije

Suša pripada grupi najznačajnijih opasnosti po životnu sredinu, ali se zbog svoje kompleksnosti slabo zna o njoj. Može da se pojavi na malim područjima, ali može i da izazove probleme na nivou čitavih kontinenata. Sa vremenskog aspekta, suša može da bude karakteristika jednog kratkog perioda, jedne sedmice, ali može i da karakteriše čitavu jednu dekadu, dokazano instrumentalnim merenjima i paleo rekonstrukcijama klime. Upravo zbog njene kompleksnosti, razvijanje sistema ranog upozorenja je teže nego kod ostalih hidro-meteoroloških hazarda (Pulwarty i Sivakumar 2014).

Kako pojava suše ima značajne ekonomske, ekološke i socijalne posledice, još početkom 1990-ih se javljaju pokušaji da se suša prati i predvidi (1994. godine Konvencija Ujedinjenih Nacija protiv dezertifikacije). Kasnije je vršeno nekoliko procena na regionalnom i internacionalnom nivou. Najnovije težnje su da postoji sistem ranog upozorenja (Global Drought Information System, Pozzi et al. 2013) koji bi dao prostorni prikaz nedostataka mesečnih padavina na globalnom nivou. Za teritoriju Evrope, Evropski sistem za praćenje suše (European Drought Observatory System - EDO) pruža informacije o suši. Za jugoistočnu Evropu, Centar za upravljanje sušom u jugoistočnoj Evropi (Drought Management Centre for Southeastern Europe - DMCSEE) najavio je razvijanje regionalnog sistema za rano upozorenje.

Sistem za rano upozorenje pruža informacije o obimu i jačini očekivanih posledica ovog fenomena (kao i o mogućnostima za ublažavanje, prilagođavanje i adaptaciju). Osnova sistema je integracija podataka i nji-

első modell-számítások alapján állítja elő az adatokat (pl. az éghajlati adatok kb. 10 napos, max. 2 hetes prognóza). A másik az elmúlt évek, évtizedek adatai, azok előfordulási gyakorisága alapján számolja ki a várható értékeket.

Az aszály előrejelző rendszerek kialakításában fontos kérdés a lépték. A globális/regionális rendszerek, azok felbontása és generális tartalma miatt, nem informatívak a felhasználók számára. A parcella szintű rendszerek egyrészről adathiány miatt nem megvalósíthatóak, továbbá a lépték csökkenésével az adatok bizonytalansága is nő. A lépték csökkentéséhez (pl. 1 km²) és az adatok pontosításához szükséges a lokális tényezők minél részletesebb megismerése és monitorozása, melyhez terepi mérések és ezekkel összehangolt nagy felbontású távérzékelte adatokra van szükség. A projekt ezért célul tűzte ki az aszály kialakulásában szerepet játszó környezeti tényezők monitorozási lehetőségeinek kidolgozását, melyek között szerepet kapnak tényleges terepi mérések, távérzékelte adatfeldolgozás és modellezés is.

A projekt során több monitorozási és modellezési módszer alkalmazhatóságát vizsgáltuk meg egy lehetséges aszály-monitoring/előrejelző rendszer kialakításához:

- Klímaparaméterek: saját adatgyűjtés a beszerzett meteorológiai állomások alapján, valamint az EUMETSAT segítségével; aszályindexek számítása és annak alkalmazása: SPI, PaDI indexek
- Talajnedvesség: saját adatgyűjtés terepi talajnedvesség-mérő állomások alapján, valamint az EUMETSAT segítségével.
- Hidrológia: felszíni vizek monitorozása többsávos (multispektrális) műholdfelvételek értékelésével, automata vízhozam-mérő műszerekkel és hidrológiai modellek (MIKE, HEC-HMS és Budyko) alkalmazásával, felszín alatti vizek monitorozása terepi szenzorhálózat segítségével.
- Vegetáció: EVI, NDVI vegetációs indexek (MODIS, Landsat)

hova obrada u cilju dobijanja modela za predikciju suše. Postoje dva modela: numerički i statistički. Raniji modeli koriste podatke dobijene modelovanjem (npr. klimatske prognoze za 10 dana, najviše dve nedelje). Kasniji modeli proračunavaju očekivane vrednosti na osnovu učestalosti pojavljivanja podataka u prethodnim vremenskim periodima.

Skala je bitno pitanje vezano za sistem ranog upozorenja. Globalni/regionalni sistemi nisu dovoljno informativni za opšte korisnike zbog opšteg sadržaja i male rezolucije. Informacije za tačno definisana područja nisu dostupne, dok netačnost informacija raste sa smanjenjem posmatranog područja. Za veću preciznost (npr. 1 km²) nepohodna su znanja i praćenja na lokalnom nivou, što zahteva terenska merenja i podatke daljinskih merenja visokih rezolucija. Upravo zbog toga, naš projekat ima za cilj razvijanje uslova za praćenje parametara suše kroz terenska merenja, obradom podataka dobijenih daljinskim merenjima i modelovanjem.

Tokom trajanja projekta, nekoliko metoda za praćenje i modelovanje je primenljivo kako bi se obezbedilo praćenje suše, odnosno uspostavio sistem ranog upozorenja:

- Klimatski parametri: pribavljanje podataka sa zvaničnih meteoroloških stanica i EUMETSAT sistema; proračunavanje indeksa suše i korišćenje postojećih; SPI, PaDI indeksi suše
- Vlažnost zemljišta: pribavljanje podataka sa stanica koje prate vlažnost zemljišta na terenu i EUMETSAT sistema
- Hidrologija: praćenje površinskih voda pomoću multispektralnih satelitskih snimaka, automatski merni instrumenti za protok vode i hidroloških modela (MIKE, HEC-HMS and Budyko), praćenje nivoa podzemnih voda pomoću sistema senzora
- Vegetacija: EVI i NDVI pokazatelji (MODIS, Landsat)

6.1. A talajnedvesség megfigyelésének lehetőségei

6.1.1. Terepi talajnedvesség mérés az aszálykutatás szolgálatában

*Barta Károly, Vesna Bengin Crnojević,
Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Fiala
Károly, Dejan Vukobratović*

Bevezetés

Az aszály számos definíciója és tipizálása alapján megállapíthatjuk, hogy az aszály jellemzésében három környezeti tényezőnek vagy tényezőcsoportnak van kiemelt jelentősége (Pálfi 2004). A légköri aszályt néhány klasszikus meteorológiai paraméterrel (csapadék, léghőmérséklet, páratartalom, szélsébség), a hidrológiai aszályt a vízfolyások és állóvizek vízállásával, illetve a talajvízszinttel, míg a talajaszályt a különböző mélységekben mért talajnedvességadatokkal jellemezhetjük. Egy adott időszak várható aszályosságának előrejelzését alapvetően a meteorológiai előrejelzésekre tudjuk építeni, ennek megfelelően az előrejelzendő időszak hosszának növekedésével jelentősen növekszik annak bizonytalansága is. A mezőgazdaság szempontjából legalább ilyen fontosnak véljük a talaj nedvességi állapotát is. Nem kétséges, hogy egy-egy komolyabb nyári szárazság idején a talaj felső 10-20 cm-e rendkívüli módon kiszáradhat, de ami számottevően megnöveli az aszály bekövetkeztének valószínűségét, ha már a vegetációs időszak kezdetén legalább 70-80 cm-es mélységig száraz, azaz lényegesen a szántóföldi vízkapacitás alatt maradó talajnedvességet tapasztalunk. Ennek kialakulásának okát általában a megelőző őszi-téli időszak súlyos csapadékhánya okozza. Önmagában ez természetesen még nem vezet szükségképpen nyári aszályhoz, de amennyiben nem várható az átlagnál csapadékosabb tavasz és nyárelő, nagyon komoly mezőgazdasági károkra számí-

6.1. Mogućnosti posmatranja vlažnosti zemljišta

6.1.1 Mogućnosti terenskog merenja vlažnosti zemljišta u funkciji istraživanja suše

*Barta Károly, Vesna Bengin Crnojević,
Blanka Viktória, Ladányi Zsuzsanna, Fiala
Károly, Dejan Vukobratović*

Uvod

Na osnovu brojnih definicija i tipizacija suše možemo ustanoviti, da u karakterizaciji suše tri faktora imaju istaknuti značaj (Pálfi 2004): atmosfersku sušu određuju klasični meteorološki parametri (padavine, temperatura vazduha, brzina vetra), hidrološku sušu vodostaji tekućih i stajaćih voda, odnosno nivoi podzemnih voda, dok se zemljišna suša definiše na osnovu podataka iz merenja vlažnosti zemljišta na različitim dubinama. Prognoze za sušnost određenog perioda u suštini se temelje na meteorološkim prognozama, i shodno tome povećanjem vremena na koje se prognoza odnosi, značajno raste i njena neodređenost. Sa aspekta poljoprivrede, stanje vlažnosti zemljišta ima skoro isti značaj. Bez sumnje da se za vreme pojedinih ozbiljnih letnjih suša gornji slojevi zemljišta od 10-20 cm mogu izuzetno isušiti, ali ono što u velikoj meri povećava verovatnoću pojave suše je ako je već na početku vegetacionog perioda najmanje do 70-80 cm dubine suva zemlja ili je vlažnost zemljišta značajno manja od poljskog vodnog kapaciteta. Pojava ovakvog stanja je uzrokovana najčešće jakim deficitom padavina u prethodnom jesenjem-zimskom periodu. Ovo samo po sebi naravno ne vodi neizbežno do letnje suše, ali ukoliko se ne može očekivati natprosečno kišno proleće i početak leta, možemo računati sa ozbiljnim poljoprivrednim štetama, koje

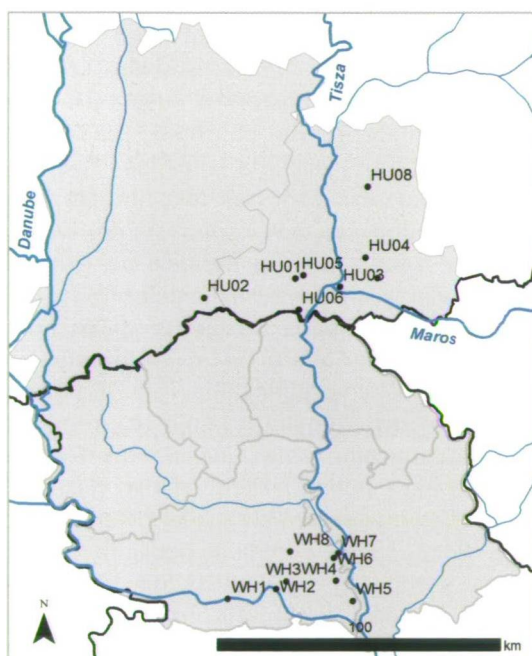
hatunk, melyek akár a mélyebben gyökerező élő kultúrákat is érinthetik.

A WAHASTRAT projekt keretén belül 16 hidrometeorológiai állomást helyeztünk üzembe (6.1. ábra), melyek célja a meteorológiai paraméterek mérése, a területi különbségek monitorozása, illetve a talajnedvességmérő modulok segítségével a talajaszály kimutatása és előrejelzése. Jelen fejezetben néhány magyarországi mérőállomás esetében a monitorozott talajok nedvességi állapotának a 2014. év első felében bekövetkező változásait mutatjuk be.

Ugyanakkor a mélyebben gyökerező kultúrák sa dubljim koren.

U okviru projekta WAHASTRAT postavili smo 16 meteoroloških stanica (Slika 6.1), čiji je cilj merenje meteoroloških parametara, monitoring prostornih različitosti, odnosno detekcija i prognoza zemljišne suše pomoću modula za merenje vlažnosti zemljišta.

U ovom poglavlju prikazaćemo promene stanja vlažnosti zemljišta zabeleženih na nekoliko mernih stanica u Mađarskoj u prvoj polovini 2014. godine.



6.1. ábra A mérőállomások elhelyezkedése és a HU05-ös állomás fotója

Slika 6.1 Lokacije mernih stanica i fotografija stanice HU05

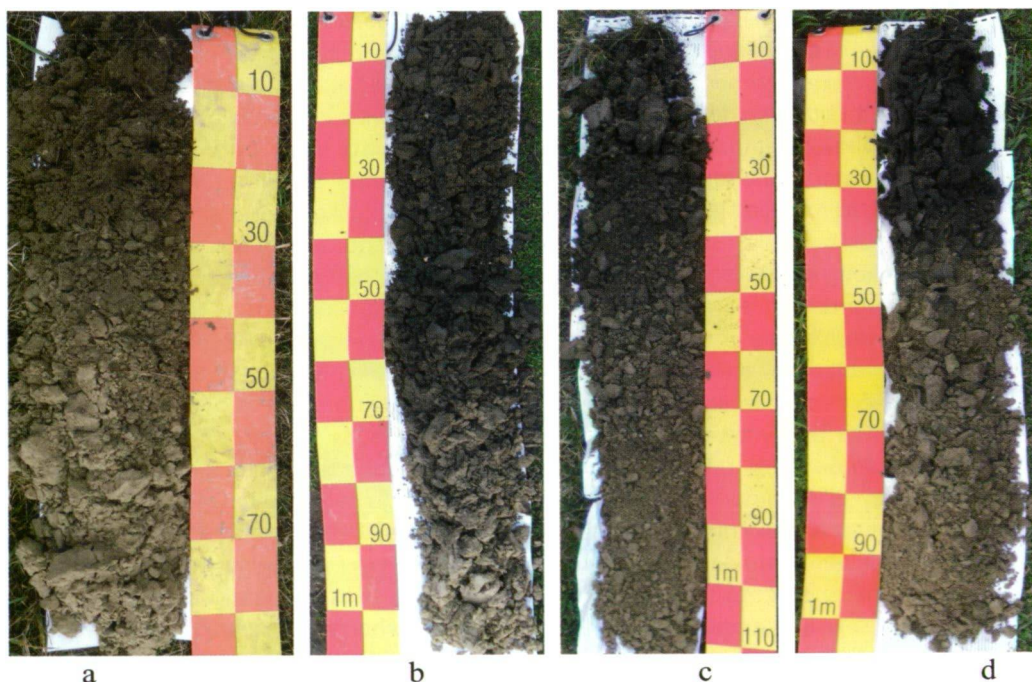
Fig. 6.1 Location of measurement stations and the photo of HU05 station

Módszerek

A szerbiai 8 mérőállomás csernozjom, réti csernozjom, szoloncsák és réti talajon, a magyarországi 8 mérőállomás futóhomok, csernozjom, réti szolonyec és öntés talajon került telepítésre. (6.2. ábra)

Metodi

U Srbiji je 8 stanica postavljeno na crnicu, ritsku crnicu, solončak i ritsko zemljište, a merne stanice u mađarskoj su postavljene na peskovita zemljišta, crnicu, aluvijalna i ritska zemljišta. (Slika 6.2)



6.2 ábra: A négy vizsgált talajtípus szelvényfotói (a: humuszos homok (HU01); b: csernozjom (HU05); c: sztyeppesedő réti szolonyec (HU04); d: humuszos öntés (HU07))

Slika 6.2 Fotografije profila četiri ispitivana tipa zemljišta (a: humusni pesak (HU01); b: černozem (HU05); c: zaslanjene smonice (HU04); d: humusno aluvijalno zemljište (HU07))

Fig. 6.2 Soil profiles of the four investigated soil types (a: arenosol (HU01); b: chernozem (HU05); c: vertisol (HU04); d: fluvisol (HU07))

A mérőállomások az alábbi paraméterek mérésére alkalmasak:

1. Csapadékmennyiség mm-ben – billenőkanalas érzékelő segítségével
2. Léghőmérséklet a felszín felett 2 m-es magasságban °C-ban
3. Légnedvesség a felszín felett 2 m-es magasságban %-ban
4. Átlagos szélsébség a felszín felett 2 m-es magasságban m/s-ban – szélkanalas érzékelő segítségével
5. Szélirány fokban (0 fok: nyugat)
6. Talajnedvesség 6 különböző mélységben. (10-20-30-45-60-75cm) Az alkalmazott talajnedvesség-mérő szenzor (EC-5) működése a talaj dielektromos állandójának

Merne stanice mogu da mere sledeće parametre:

1. Količinu padavina u mm - pomoću senzora sa plovkom
2. Temperaturu vazduha iznad površine u visini od 2 m u °C
3. Vlažnost vazduha iznad površine u visini od 2 m u %
4. Prosečnu brzinu vetra iznad površine u visini od 2 m u m/s - pomoću senzora sa vazдушnim lopaticama
5. Pravac vetra u stepenima (zapad - 0 stepeni)
6. Vlažnost zemljišta na 6 različitim dubina. (10-20-30-45-60-75cm) Funkcionisanje primenjenog senzora za merenje

mérésén alapszik, s a mért értékekhez laboratóriumi körülmények között kontrollált nedvességtartalmú talajszorozat segítségével végzik el a kalibrációt. A talaj aktuális nedvességtartalmát a teljes talaj térfogatának %-ában kapjuk meg.

A felsorolt paraméterek mérése órás gyakorisággal történik, értelemszerűen a csapadék- és széljellemzők az elmúlt egy óra értékét, illetve átlagértékeit adják meg.

A mérőállomások elhelyezésének alapvető szempontja az volt, hogy a jellemző talajtípusok közül minél több reprezentálva legyen, de elsősorban az aszály által sújtott mezőgazdasági területek alatti talajtakaróra koncentráltunk, így pl. a művelésre alkalmatlan szikes talajokat kihagytuk a monitoringból. A kiválasztott helyszínek mindegyikén részletes talajfeltárást végeztünk, szintenként, illetve a talajnedvesség-szenzorokkal megegyező mélységekben mintáztuk a talajtakarót, és a begyűjtött mintákon a következő méréseket végeztük:

- a) talajtani alapvizsgálatok a jellemző szintekből: Arany-féle kötöttség (MSZ 08-0205:1978 szerint), pH_{H_2O} , összes oldható sótartalom, karbonát tartalom (MSZ 08-0206/2:1978) és humusztartalom (MSZ 21470-52:1983).
- b) szemeloszlás a jellemző szintekből MSZ 08-0205:1978 szerint.
- c) hidrofizikai tulajdonságok az összes mintázott mélységből: bolygatatlan talajminták segítségével meghatároztuk az adott mélységben a térfogattömeget, maximális és szántóföldi vízkapacitást, aktuális nedvességtartalmat, higroszkóposzást, holtvíztartalmat és a hidraulikus vezetőképességet (Stefanovits 1992).

A mérési adatok alapján jellemeztük a talajok adott mélységében található nedvességi állapotát, melyhez a hidrofizikai jellemzők közül a szántóföldi vízkapacitást és a holtvíz-

vlažnosti zemljišta (EC-5) zasnovano je na merenju dielektrične konstante zemljišta, a za izmerene vrednosti se vrši kalibracija pomoću serije zemljišta sa kontrolisanom količinom vlažnosti u laboratorijskim uslovima. Stvarnu količinu vlažnosti dobijamo u procentima cele zapremine zemljišta.

Merenje nabrojanih parametara se odvija svakog sata, a shodno tome padavine i parametri vetra daju vrednost od prošlog sata, odnosno prosečnu vrednost.

Osnovni kriterijum za određivanje lokacije mernih stanica je bio da što više tipova zemljišta bude zastupljeno, ali pre svega smo se skoncentrisali na zemljišta poljoprivrednih površina, tako da smo npr. slatinasta zemljišta izostavili iz monitoringa. Na odabranim lokacijama smo izvršili detaljnu analizu profila, po horizontima, odnosno u dubinama odgovarajućih senzora smo uzorkovali zemljišni pokrivač i na prikupljenim uzorcima izvršili sledeća merenja:

- a) osnovna pedološka ispitivanja iz karakterističnih horizonata: indeks plastičnosti prema Arany-u (po MSZ 08-0205:1978), pH_{H_2O} , sadržaj rastvorljivih soli, sadržaj karbonata (MSZ 08-0206/2:1978) i sadržaj humusa (MSZ 21470-52:1983).
- b) granulometrijski sastav iz karakterističnih horizonata po MSZ 08-0205:1978
- c) hidrofizičke osobine iz svih uzorkovanih dubina: pomoću neporemećenih uzoraka odredili smo zapreminsku masu za datu dubinu, maksimalni poljski vodni kapacitet, stvarnu količinu vlage, higroskopsnost, tačku venjenja i hidrauličku provodljivost (Stefanovits 1992).

Na osnovu podataka dobijenih merenjem smo odredili stanje vlažnosti zemljišta u datim dubinama, za koje smo kao osnovu za poređenje od hidrofizičkih karakteristika uzeli

tartalmat tekintettük viszonyítási alapnak. Kedvező vízellátottságúnak tekintettük azt a talajréteget, amely nedvességtartalma max. 5 v/v%-kal kisebb, mint a szántóföldi vízkapacitás értéke. Ha ennél alacsonyabb a nedvességtartalma, akkor száraz talajról beszélünk, ha pedig a holtvítartalom alá csökken a nedvességtartalma, akkor rendkívül száraz állapotnak nevezzük. A vízhiány számszerűsítése úgy történt, hogy a szántóföldi vízkapacitásig történő feltöltődéshez szükséges beszivárgás mennyiségét fejeztük ki mm-ben. Ehhez a felső 3 szenzor által mért értéket 10-10 cm-es, míg az alsó 3 szenzor által mért értéket pedig 15-15 cm-es rétegekre vonatkoztattuk. Ez azt jelenti, hogy 1 v/v%-nyi nedvességnövekedéshez 1, illetve 1,5 mm-nyi csapadéknak kellene beszivárognia. Egy adott talajszelvény mm-ben kifejezett vízhiányát a 6 szenzor alapján számolt rétegenkénti hiány összegzésével kapjuk meg. Ugyanilyen logika alapján egy-egy csapadékesemény után meghatározható az adott mélységbe beszivárgott vízmennyiség mm-ben. Ezzel azt is ki tudjuk mutatni, hogy a talajtípus és a felszíni hőmérséklet függvényében a lehulló csapadékból hány mm „hasznosul”.

Eredmények

A Duna-Tisza közí hátságra jellemző humusz-szos homokra került az öreghegyi és kelebiai állomás (HU01 és HU02), a Dél-Tiszavölgy és a Dél-Tiszántúl legjobb minőségű talajainak számító csernozjomokra került a kiskundorozsmai, röszei és szentes-fertői állomás (HU05, HU06 és HU08), míg a Tápai-réten és Gencsháton (HU03 és HU07) humusz-szos öntéstalaj, Batidán (HU04) pedig sztyeppesedő réti szolonyec a nedvességmérő szenzorok befogadója. A két humusz-szos homok kivételével a többi talajról elmondható, hogy – bár eredeti szintezettségük megőrződött –, antropogén hatás is felismerhető rajtuk: felsőbb szintjeikben

količinu poljskog vodnog kapaciteta i tačku venjenja. Za povoljne vodne karakteristike smo smatrali slojeve koji su imali za najviše 5 v/v% manji sadržaj vlage zemljišta od maksimalnog vodnog poljskog vodnog kapaciteta. Ako je od ovog manji sadržaj vlažnosti, onda je reč o suvom zemljištu, a kada se količina vlage spusti ispod količine tačke venjenja onda se to označava kao izuzetno suvo stanje. Numeričko izražavanje deficita vode je izvršeno na taj način, da smo prikazali količinu vode neophodnu za dopunjavanje slojeva do poljskog vodnog kapaciteta u milimetrima. Za ovo smo uzeli vrednosti izmerene preko gornja 3 senzora za slojeve od 10-10 cm, dok se vrednosti izmerene pomoću donja 3 senzora odnose na slojeve 15-15 cm. Ovo znači, da je za povećanje vlažnosti od 1 v/v% potreban priliv od 1 odnosno 1,5 mm padavina. Deficit vode jednog datog zemljišnog profila dobijamo sabiranjem deficita slojeva izračunatih na osnovu 6 senzora. Na osnovu iste logike nakon pojedinačnih padavina može se odrediti u mm količina vode koja je proceđene na datu dubinu. Ovim možemo iskazati i kolika je „iskorišćenost” vode u funkciji tipa zemljišta i površinske temperature.

Rezultati

Stanice kod Ereğheđ-a i Kelebije (HU01 i HU02) su postavljene na humusni pesak tipičan za zaravan međurečja Dunava i Tise, a na zemljišta crnice koja važe kao najbolje u južnom Potisju i istočnoj Mađarskoj niziji su postavljene stanice kod Kiškundorožme, Reske, i Senteš ferde-a (HU05, HU06 i HU08), dok su na Tapai ret-u i Genčhat-u (HU03 i HU07) humusna aluvijalna zemljišta, na Batidi (HU04) su senzori za vlagu smešteni u zaslanjene smonice.

Sa izuzetkom dva humusna peskovita zemljišta, za ostala se može reći da iako imaju očuvanu prvobitnu slojevitost, na

6.1. táblázat Talajtani alapvizsgálatok adatai a HU01, HU04, HU05 és a HU07 állomásoknál

1: minta jele; 2: jellemzett mélység; 3: karbonáttartalom (m/m%); 4: Arany-féle kötöttség; 5: sótartalom (m/m%); 6: szervesanyagtartalom (m/m%); 7: pH; 8: fizikai féleség (terepi megfigyelés)

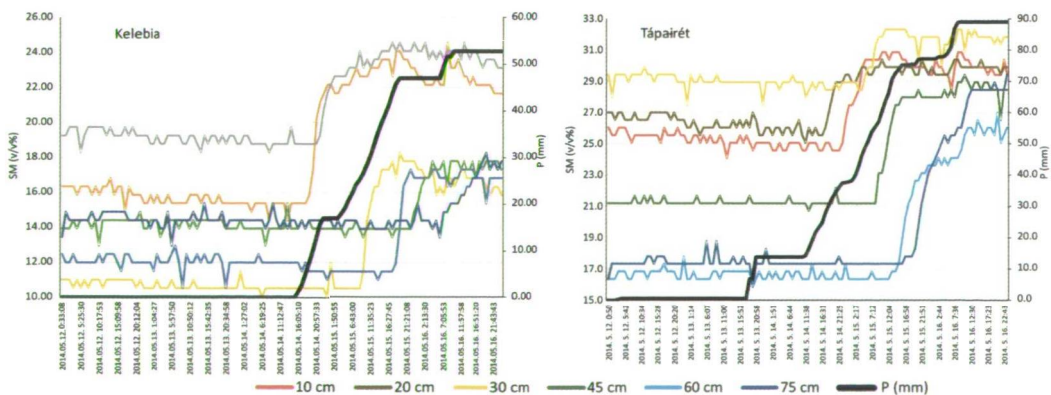
Tabela 6.1 Podaci osnovne pedološke analize kod stanica HU01, HU04, HU05 i HU07

1: oznaka uzorka; 2: ispitivana dubina; 3: sadržaj karbonata (m/m%); 4: indeks plastičnosti prema Arany-u; 5: sadržaj soli (m/m%); 6: sadržaj organske materije (m/m%); 7: pH; 8: fizički tip (terensko osmatranje)

Table 6.1 Basic soil investigation data at HU01, HU04, HU05 and HU07 stations

1: sample number; 2: described depth; 3: carbonate content (m/m%); 4: plasticity index according to Arany; 5: salt content (m/m%); 6: organic matter content (m/m%); 7: pH; 8: physical type (field monitoring)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------|-----------|-------|----|------|------|------|---|
| HU01/20 | 0-40 cm | 2.54 | 33 | 0.01 | 0.75 | 7.50 | homok/pesak/sand |
| HU01/60 | 40-80 cm | 7.63 | 31 | 0.01 | 0.35 | 8.30 | homok/pesak/sand |
| HU04/30 | 0-45 cm | 0.85 | 40 | 0.02 | 1.47 | 7.50 | vályog/mulj/silt |
| HU04/60 | 45-75 cm | 4.24 | 43 | 0.03 | 1.10 | 7.70 | agyagos vályog/glinoviti mulj/clayey silt |
| HU04/75 | 75-115 cm | 12.29 | 49 | 0.06 | 1.03 | 7.65 | agyagos vályog/glinoviti mulj/clayey silt |
| HU05/30 | 0-45 cm | 8.90 | 37 | 0.03 | 1.97 | 8.14 | homokos vályog/peskoviti mulj/sandy silt |
| HU05/60 | 45-70 cm | 27.12 | 48 | 0.04 | 1.87 | 8.93 | agyagos vályog/glinoviti mulj/clayey silt |
| HU05/75 | 70-90 cm | 27.96 | 44 | 0.05 | 1.39 | 9.14 | vályog/mulj/silt |
| HU07/20 | 0-40 cm | 0.21 | 59 | 0.02 | 3.21 | 6.86 | agyag/glina/clay |
| HU07/60 | 40-75 cm | 1.69 | 72 | 0.12 | 1.50 | 7.51 | agyag/glina/clay |



6.3. ábra A kelebiai (HU02) és tápai-réti (HU03) talajnedvességek változása 2014. május 12-16. között; SM: talajnedvesség v/v%-ban; P: kumulált csapadék mm-ben

Slika 6.3 Promena vlažnosti zemljišta kod Kelebije (HU02) i Tapai ret-a (HU03) između 12-16. maja 2014.; SM: vlažnost zemljišta u v/v%; P: kumulativne padavine u mm

Fig.4 Soil moisture changes in Kelebia (HU02) and Tápai-rét (HU03) between 12 and 16th May, 2014; SM: soil moisture in v/v%; P: cumulated precipitation in mm

több-kevesebb téglatörmelék, beton-
rabokat találunk, Dorozsmán és Batidán
pedig erőteljes tömörödés figyelhető meg
a mélyebb rétegekben is. A feltárt talajok
jellemző szintjeinek alapvizsgálati adatait a
6.1. táblázatban foglaltuk össze, és a főtí-
pusokból egy-egy szelvényfotót a 6.2. ábrán
mellékelünk.

A talajok hidrofizikai tulajdonságai jól tük-
rozik a fizikai féleségüket, valamint a terepen
tapasztalt tömörödöttségi viszonyokat (6.2.
táblázat). Az aszályérzékenység szempontjá-
ból két hátrányos tulajdonságot kell kiemelni
a laboratóriumi adatok közül:

6.2. táblázat A talajok vízgazdálkodásával kapcsolatos paraméterek laboratóriumi eredményei

1: minta jelle; 2: jellemzett mélység; 3: maximális vízkapacitás (v/v%); 4: térfogattömeg (g/cm³); 5: szántóföldi
vízkapacitás (v/v%); 6: gravitációs pórustér (v/v%); 7: higroszkóposág (v/v%); 8: holtvíztartalom (v/v%); 9: vízáteresztő
képesség (mm/h)

1: oznaka uzorka; 2: ispitivana dubina; 3: vodni kapacitet (v/v%); 4: zapreminska masa (g/cm³); 5: poljski vodni
kapacitet (v/v%); 6: gravitaciona poroznost (v/v%); 7: higroskopsnost (v/v%); 8: sadržaj vezane vlažnosti (v/v%); 9:
kapacitet infiltracije (mm/h)

Table 6.2.: Laboratory results of parameters connected to soil water management

1: sample number; 2: described depth; 3: maximum water capacity (v/v%); 4: bulk density (g/cm³); 5: field capacity
(v/v%); 6: gravitational pore space (v/v%); 7: hygroscopy (v/v%); 8: wilting point (v/v%); 9: infiltration (mm/h)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| HU01/20 | 0-40 cm | 47.6 | 1.50 | 23 | 24.6 | 0.09 | 0.38 | 57.2 |
| HU01/60 | 40-80 cm | 38.8 | 1.42 | 22.2 | 16.6 | 0.68 | 2.70 | 35 |
| HU04/30 | 0-45 cm | 36 | 1.67 | 28.6 | 7.4 | 5.19 | 20.76 | 0.14 |
| HU04/45 | 45-75 cm | 31.6 | 1.81 | 25.1 | 6.5 | 3.72 | 14.88 | n.d. |
| HU04/60 | 45-75 cm | 42.1 | 1.56 | 28.9 | 13.2 | 2.48 | 9.92 | 0.46 |
| HU05/30 | 0-45 cm | 40.4 | 1.58 | 31.9 | 8.5 | 2.40 | 9.62 | 9.14 |
| HU05/60 | 45-70 cm | 44.13 | 1.39 | 33.1 | 11 | 3.27 | 13.06 | 15.4 |
| HU07/20 | 0-40 cm | 43.5 | 1.41 | 34.8 | 8.7 | 6.84 | 27.35 | 0.004 |
| HU07/60 | 40-75 cm | 45 | 1.51 | 32.9 | 12.1 | 6.00 | 23.99 | 0.48 |

a) Jól ismert tény, hogy a homokszelvények
nagy vízáteresztő képessége és gyenge
vízraktározó képessége (azaz alacsony,
akár 10 v/v% körüli szántóföldi vízkapa-
citása) már viszonylag rövid forró-száraz
periódus esetén is a rajta termesztett
növények pusztulásához vezet.

njima je prepoznatljiv i antropogeni uticaj:
u gornjim slojevima smo pronašli krhotine
cigala, komade betona, a kod Dorozme i
Batide smo zapazili i snažno sabijanje čak i u
dubljim slojevima. Podaci iz osnovne analize
karakterističnih slojeva analiziranih zemljišta
prikazani su u tabeli 6.1. a na slici 6.3. priložili
smo slike profila glavnih tipova.

Hidrofizičke osobine zemljišta dobro
odslikavaju njihove tipove, kao i uslove
sabijanja koji su zapaženi na terenu
(Tabela 6.2). Sa aspekta osetljivosti na
sušu od laboratorijskih podataka moraju se
napomenuti dve nepovoljne osobine:

a) Dobro je poznata činjenica, da peskoviti
profili imaju veliku vodopropusnu
moć i slabu moć zadržavanja vode (tj.
nizak, skoro oko 10 v/v% poljski vodni
kapacitet) te već relativno kratak
vreo-suv period na njemu dovodi do
izumiranja biljaka.

b) Szinte az összes további szelvénynél (Röszke kivételével) a talajtömörödésnek köszönhetően több mélységben is extrém alacsony vízáteresztő képességeket mértünk, melyekhez általában magas térfogattömeg és holtvíztartalom, valamint alacsony maximális vízkapacitás, illetve gravitációs pórustér tartozik. Különösen tömődött a batidai és a gencsháti talajtakaró, ahol a mélyebb szintek nedvességtartalmának időbeni változása is jól bizonyítja a felette lévő tömör rétegek jelenlétét.

A mérőállomások telepítése idején, 2013-2014 fordulóján igen jelentős mértékű talajaszályt tapasztaltunk: a megelőző száraz nyár és ősz, illetve a legtöbb dél-alföldi meteorológiai állomáson mért 0 mm-es decemberi csapadékmennyiség megtette a hatását: a talajnedvességek akár 15-20%-kal is elmaradtak a szántóföldi vízkapacitástól. Legkedvezőbb nedvességi állapot a csernozjomokra volt jellemző, míg a homoktalajoknál és az agyagosabb hidromorf talajoknál jóval súlyosabb volt a helyzet (6.3. táblázat).

Az ezt követő egy-másfél hónapban 40-70 mm közötti csapadék hullott a területen, melynek köszönhetően a rendkívüli száraz téli állapot a legtöbb talajnál megszűnni látszott, de az agyagos, tömődött vízhatású talajok még ekkor, február végén is jelentős vízhiánnyal küzdöttek (Batida, Gencshát). A talajnedvességadatok segítségével számszerűsíteni tudtuk a vizsgált időpontokban az egyes szelvények vízhiányát. A talajok fizikai féleségének függvényében a homoktalajok rendkívül gyorsan feltöltődtek – a későbbiekben majd ugyanilyen gyorsan le is tudnak ürülni, illetve kiszáradni, a csernozjomokon lassú, kiegyensúlyozott vízháztartási változások figyelhetők meg, míg a legkedvezőtlenebb gencsháti humuszos öntésen érdemi beszívargás csak a felső 20-25 cm-ében történt, s még februárban is közel 40 mm-nyi csapadék hi-

b) Skoro kod svih ostalih profila (sa izuzetkom Reske) zahvaljujući sabijanju zemljišta smo izmerili ekstremno nisku vodopropusnu moć uz koje se najčešće javlja visoka zapreminska masa i tačka venjenja, kao i nizak maksimalni vodni kapacitet, odnosno gravitaciona poroznost. Naročito su sabijeni zemljišni pokrivači kod Batide i Genčhata, gde vremenska promena vlažnosti dubljih horizonata dobro ukazuje na zgusnute slojeve koji se nalaze iznad njih.

Za vreme postavljanja mernih stanica, na prekretnici između 2013-2014 zabeležili smo vrlo značajnu meru isušenosti zemljišta: prethodno suvo leto i jesen, odnosno na većini južno alfeldskih mernih stanica izmerena padavina od 0 mm u decembru, su imale osetan uticaj: vlažnost zemljišta je bila manja za 15-20% od poljskog vodnog kapaciteta. Najpovoljnije stanje vlažnosti je bilo karakteristično za černozeme, dok je kod peskovitih zemljišta i kod glinovitijih hidromorfniha zemljišta stanje bilo daleko teže (Tabela 6.3).

Nakon ovog u narednih mesec - mesec i po dana na ovom prostoru je palo između 40-70 mm padavina, zahvaljujući kojima se činilo da će prestati izuzetno suvo zimsko stanje, ali glinovita, sabijena zemljišta su se i tada, krajem februara suočavala sa značajnim deficitom vode (Batida, Genčhat). Pomoću podataka o vlažnosti zemljišta mogli smo numerički izraziti deficit vode kod pojedinih profila u ispitivanim vremenskim intervalima. U zavisnosti od fizičkog tipa zemljišta peskovita zemljišta su se izuzetno brzo napunila - kasnije će isto tako brzo izgubiti vodu, odnosno isušiti, a na crnicama se mogu videti postepene i uravnotežene promene vodenog bilansa, dok se na najnepovoljnijim humusnim hidromorfniha zemljištima kod Genčhata značajnija infiltracija dogodila samo u gornjih

6.3. táblázat Néhány kiválasztott szelvény nedvességi állapota 2014 telén

1: minta jele; 2: szántóföldi vízkapacitás (v/v%); 3: holtvíztartalom (v/v%); 4: januári talajnedvesség (v/v%); 5: talajnedvesség február 24-25-én (v/v%); 6: vízhiány januárban (mm); 7: vízhiány februárban (mm); 8: szelvényenkénti vízhiány (mm)

*A negatív előjel vízhiányt, a pozitív előjel szántóföldi vízkapacitás feletti víztöbbletet jelent. Sárga szín jelzi a jelentős vízhiányos szinteket (nedvességtartalma min. 5 v/v%-kal kisebb a szántóföldi vízkapacitásnál), kék pedig a jelentős víztöbblettel rendelkezőket (nedvességtartalma min. 5 v/v%-kal meghaladja a szántóföldi vízkapacitást)

Tabela 6.3.: stanje vlažnosti na nekoliko odabranih profila u zimu 2014 godine

1: oznaka uzorka; 2: poljski vodni kapacitet (v/v%); 3: količina vezane vlažnosti (v/v%); 4: januarska vlažnost zemljišta (v/v%); 5: vlažnost zemljišta 24-25 februara (v/v%); 6: deficit vode u januaru (mm); 7: deficit vode u februaru (mm); 8: deficit vode po profilima (mm)

* negativni predznak označava deficit vode, a pozitivni predznak označava višak vode iznad poljskog vodnog kapaciteta. Žuta boja označava horizonte sa značajnim manjkom vode (količina vlage manja za najmanje 5 v/v% od poljskog vodnog kapaciteta), a plava sa značajnim viškom vode (količina vlage prelazi za najmanje 5 v/v% poljski vodni kapacitet).

Table 6.3.: Moisture conditions of some selected profiles in winter 2014

1: sample number; 2: field capacity (v/v%); 3: wilting point (v/v%); 4: soil moisture in January (v/v%); 5: soil moisture on 24-25 February (v/v%); 6: water scarcity in January (mm); 7: water scarcity in February (mm); 8: water scarcity of profiles (mm)

*The negative sign indicates water scarcity, the positive sign indicates water surplus above field capacity. The levels with serious water shortage (soil moisture is min. 5 v/v% less than field capacity) are highlighted in yellow; blue cells refer to levels having considerable water surplus (soil moisture is min. 5 v/v% more than field capacity)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------|------|------|------|------|-------|-------|----------|
| HU01/10 | 11 | 2.8 | 13.7 | 13.5 | 2.7 | 2.5 | |
| HU01/20 | 23 | 0.4 | 11.6 | 14.2 | -11.4 | -8.8 | 2014.01: |
| HU01/30 | 17.8 | 3.1 | 9.4 | 19.8 | -8.4 | 2.0 | -37.1 |
| HU01/45 | 10.3 | 0.4 | 9.5 | 28.1 | -1.1 | 26.7 | 2014.02: |
| HU01/60 | 22.2 | 2.7 | 9.7 | 28.9 | -18.8 | 10.1 | 47.8 |
| HU01/75 | 9.7 | 2.2 | 9.6 | 19.9 | -0.1 | 15.3 | |
| HU05/10 | 27.2 | 12.5 | 29.4 | 34 | 2.2 | 6.8 | |
| HU05/20 | 26.7 | 7.7 | 27.0 | 32.6 | 0.3 | 5.9 | 2014.01: |
| HU05/30 | 31.9 | 9.6 | 29.4 | 33.3 | -2.5 | 1.4 | 25.3 |
| HU05/45 | 31.5 | 15.4 | 39.1 | 35.4 | 11.5 | 5.9 | 2014.02: |
| HU05/60 | 33.1 | 13.1 | 37.5 | 37.7 | 6.6 | 6.9 | 33.6 |
| HU05/75 | 30.7 | 11.7 | 35.5 | 35.2 | 7.3 | 6.8 | |
| HU07/10 | 39.3 | 30.6 | 30.5 | 39.6 | -8.8 | 0.3 | |
| HU07/20 | 34.8 | 27.3 | 26.1 | 37.7 | -8.7 | 2.9 | 2014.01: |
| HU07/30 | 32.8 | 29.3 | 27.5 | 24.7 | -5.3 | -8.1 | -38.8 |
| HU07/45 | 36.2 | 29.8 | 26.7 | 25.8 | -14.3 | -15.6 | 2014.02: |
| HU07/60 | 32.9 | 24.0 | 31.6 | 27.8 | -2.0 | -7.7 | -39.4 |
| HU07/75 | 32.4 | 20.4 | 32.5 | 24.9 | 0.2 | -11.3 | |

ányzott a szántóföldi vízkapacitás eléréséhez (6.3. táblázat).

Az ezt követő tavaszi hónapok változatos csapadékmennyiségekkel rendelkeztek, március szárazabb, április, május és június csapadékosabb volt, és április kivételével mindegyikre jellemző, hogy a havi csapadék lehullása döntően néhány naphoz – általában azon belül is egy-egy nagy intenzitású záporhoz – kötődik. Ilyen napok, időszakok voltak pl. márc. 24., máj. 2-3., máj. 13-16. és jún. 23-25. Júniusra különösen jellemző volt ez a kettősség, a hónap első 3 hetében érdemi, jelentősebb csapadékhullás nem történt.

Részletesebb elemzésre a május 14-15-i periódusban a kelebiai és a tápai-réti mérőállomásokat (6.3. ábra), míg június teljes egészére a batidai és gencsháti állomásokat választottuk ki (6.4. ábra).

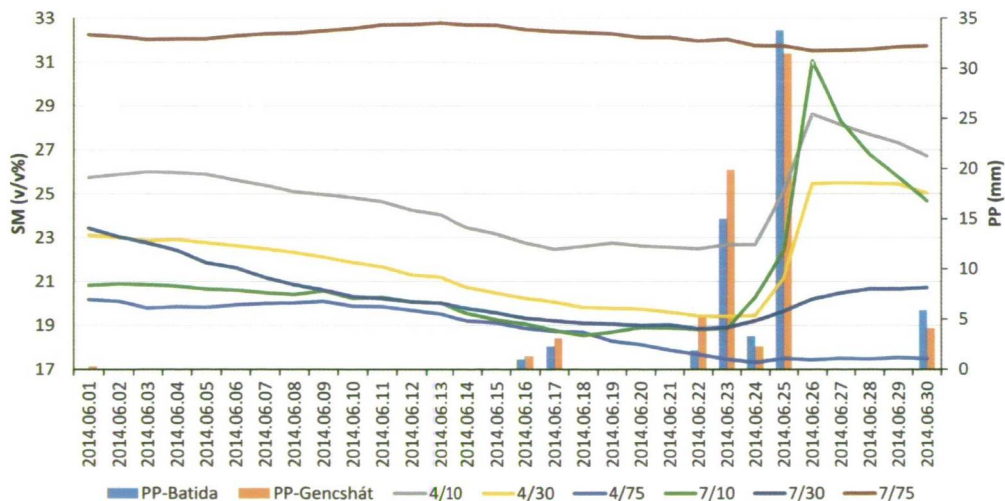
A május közepi frontbetörés hatása jól reprezentálja a homoktalajok és a finomabb textúrájú – és mellelég tömődött – humuszos

20-25 cm, dok je još i u februaru nedostajalo skoro 40 mm padavina do dostizanja poljskog vodnog kapaciteta (Tabela 6.3).

Naredni prolećni meseci su imali promenljivu količinu padavina, mart je bio suvlji, april, maj i jun su bili vlažniji i sa izuzetkom aprila, za svaki je karakteristično, da se izlučivanje mesečne padavine u velikoj meri vezuje za nekoliko dana - a u okviru kojih najčešće za pojedinačne pljuskove velikog intenziteta. Ovakvi dani i periodi su bili npr. 24. mart, 2-3. maj, 13-16. maj, 23-25. jun. Za jun je naročito bila tipična ova dvojnost, u prve 3 nedelje nije bilo značajnijih padavina.

Za detaljniju analizu smo odabrali merne stanice kelebijeke i tapai retske stanice za period 14-15. maja (Slika 6.3.), dok smo za ceo jun odabrali stanice iz Batide i Genčhat-a (Slika 6.4).

Prodor fronta sredinom maja dobro predstavlja razlike u vodnom bilansu kod peskovitih zemljišta sa finijom teksturom - i



6.4. ábra: Batida (HU04) és Gencshát (HU07) 10, 30 és 75 cm-es mélységben mért talajnedvesség-adatai; SM: talajnedvesség; PP: napi csapadékmennyiség

Slika 6.4.: Batida (HU04) i Genčhat (HU07) podaci o vlažnosti zemljišta izmereni na 10, 30 i 75 cm; SM: vlažnost zemljišta; PP: dnevna količina

Fig. 6.4.: Soil moisture data at Batida (HU04) and Gencshát (HU07) stations measured at 10, 30 and 75 cm depth; SM: soil moisture; PP: precipitation per day

öntés közötti vízgazdálkodási különbségeket. A csapadékhullást megelőzően Kelebián a felső 20 cm-ben már jóval szántóföldi vízkapacitás alatt volt a talajnedvesség, alatta viszont még akörül, vagy felette. A legutóbbi, 10 nappal azelőtti (máj. 3.), 40 mm-t is meghaladó eső után még csak a felső 30 cm-es rétegben tapasztalható jelentősebb mértékű kiszáradás, alatta a vizsgált periódusban a talajnedvességek nem csökkennek számottevően. A május 14-én lezúduló eső azonnal érezteti a hatását a talajban is, néhány óras eltolódással és a mélységgel egyre csökkenő mértékben mindenhol megemelkedik a nedvességtartalom. A homok gyenge víztartó képességére jellemző, hogy már az eső szüneteiben is, de az elállta után egy-két órán belül még markánsabban a felső 30 cm-ben már elkezd csökkeneni a nedvességtartalom, a víz a mélyebb rétegekbe szívárog le.

A Tápai-réten a május 13-át megelőző száraz periódusban szintén a felső 3 szenzor adataiban figyelhetünk meg csökkenést, azonban itt a nedvességadatok alig csökkennek a szántóföldi vízkapacitás alá. Vagyis a megelőző tíznapos időszak rövidnek bizonyult a talaj mélybeszivárgás és párolgás általi kiszáradásához. Ez az aszályérzékenység szempontjából kedvező, ugyanakkor azt is érdemes észrevenni, hogy a lentebbi szenzorok értékei már a holtvíztartalom közelében mozognak (ld. 6.2. táblázat), odáig már nem jutott le a május eleji csapadék. Ugyanezt erősíti az, hogy a május 13-i, 10 mm-t is meghaladó eső még a 10 cm-es szenzorig sem volt képes leszívárogni. A következő napok 70-80 mm-es csapadéka is csak késleltetve tudta megemelni a talaj nedvességtartalmát, legnagyobb mértékben 45 cm-en, ahol a rendkívül gyenge vízáteresztő képesség miatt (ld. 6.2. táblázat) a beszivárgó víz visszaduzzadt. A 60-70 cm-es mélységben bekövetkező markáns talajnedvesség-növekedést az alulról emelkedő talajvízszint kapilláris

pored toga sabijenih, i humusnih aluvijalnih zemljišta. Pre pojave padavina vlažnost gornjeg sloja je kod Kelebije bila značajno ispod poljskog vodnog kapaciteta, ali ispod toga sloja je vlažnost bila ista ili veća. Ovaj poslednji, kod kojeg je i nakon kiše od pre 10 dana (3. maj) koja je prevazišla 40 mm, samo u gornjem sloju od 30 cm bila приметna isušenost, ispod njega u ispitivanom periodu vlažnost zemljišta se nije smanjila značajnije.

Pljusak koji se sručio 14. maja je odmah bio osetan i u zemljištu, sa odstupanjem od nekoliko sati i svuda sa povećanjem dubine vlažnost zemljišta povećavala sa manjom merom. Za slabu vododrživost peska je karakteristično, da već u prvim pauzama kiše, ali još uočljivije 2-3 sata nakon prestanka u gornjih 30 cm, već počinje da se smanjuje količina vlažnosti i voda ponire u dublje slojeve. U suvom periodu koji je prethodio 13. maju iz podataka gornja 3 senzora na Tapai ret-u smo takođe uočili smanjenje, međutim podaci o vlažnosti su se ovde jedva spustili ispod poljskog vodnog kapaciteta. Drugim rečima prethodni desetodnevni period se pokazao kao kratak za isušivanje zemljišta putem poniranja i isparavanja vode. Ovo je povoljno sa aspekta osetljivosti na sušu, a istovremeno vredi spomenuti, da se vrednosti donjih senzora već kreću blizu tačke venjenja (v. Tabelu 6.2), jer do njih već nisu stigle padavine sa početka maja. Isto ovo potvrđuje i to, da je kiša od 13. maja, koja premašuje i 10 mm, nije uspela da se infiltrira ni do senzora na 10 cm. Padavine od 70-80 mm narednih dana su samo sa zakašnjenjem uspele podići količinu vlage u zemljištu, u najvećoj meri na 45 cm, gde se zbog izuzetne nepropustljivosti (v. tabelu 6.2) poniruća voda nakupila. Značajan porast vlažnosti zemljišta koji se javio na dubini od 60-70 cm je uzrokovan uticajem podizanja podzemnih voda kapilarnim putem: između

hatása okozza: május. 1. és 16. között 1 m-t meghaladó vízszintemelkedés következett be.

Mindkét szelvényre a talajnedvesség-változások segítségével kiszámoltuk a beszívárgott vízmennyiségeket, a Tápai-réten kihagyva belőle az alsó két mélységet: Kelebián 37 mm-nek, Tápai-réten 23 mm-nek adódott a két érték. Ezzel számszerűen is kimutattuk, hogy a talajban tárolt vízkészlet feltöltődése – és ezáltal az aszályérzékenység – hogyan függ a talaj fizikai féleségétől és az antropogén hatásra bekövetkező tömörödésétől.

A csapadékmennyiség és a talajnedvesség változása szempontjából júniust két részre bonthatjuk: 21-éig bezáróan egy száraz, minimális esővel jellemezhető periódusra, majd a hónap utolsó 10 napjára pedig az intenzív esők (55-60 mm), majd az ezt követő leszívárgás és kiszáradás volt jellemző. Mérőállomásaink közül a batidait és a gencshátit emeltük ki ebből a hónapból, az időszak hossza miatt napi átlagokkal dolgoztunk, és az adatok könnyebb áttekinthetősége érdekében csak a 10, 30 és 75 cm-es mélységben mért értékeket jelenítettük meg (6.4. ábra). A májusi feltöltődés után intenzív kiszáradást tapasztalhatunk mindkét helyszínen, jóval szántóföldi vízkapacitás alá csökkenő nedvességtérkékekkel. Az összes mérőállomás közül a legtömődöttebbnek számító Batida adatsorában jól látszik, hogy a megelőző májusi csapadékok a feltalajt telítették, az altalaj viszont száraz maradt. A felső 30 cm-ben visszaduzzadt víz jelen esetben kedvező, hiszen tartalékot jelent a szárazabb időszakokban, ugyanakkor növelheti az összegyülekezési belvíz kialakulásának esélyét. Gencsháton a szelvény nedvességprofilja jóval kiegyensúlyozottabb, bár lényegesen szárazabb. Ez alól a 75 cm-es mélység kivételt jelent, ott már nem a külső meteorológiai változások, hanem a közeli talajvíz kapilláris hatása érvényesül (a májusi esők hatására a talajvízszint 2 m fölé emelkedett). Június 22-25. folyamán Batidán a beázás 30 cm-ig volt

1 i 16. maja dogodilo se izdizanje nivoa vode koje prevazilazi 1 m.

Za oba profila smo pomoću promena vlažnosti zemljišta izračunali količinu infiltrirane vode, na Tapai ret-u izostavivši donje dve dubine: dve dobijene vrednost su na Kelebiji od 37 mm a na Tapai ret-u od 23 mm. Ovim smo numerički iskazali, kako dopunjavanje zaliha vode u zemljištu - a kroz to i osetljivost na sušu - zavisi od fizičkih osobina tla i sabijanja koje nastupa usled antropogenog uticaja.

Sa aspekta promene količine padavina i vlažnosti zemljišta jun možemo podeliti na dva dela: zaključno sa 21-im jedan suv period sa minimalnom kišom, te u poslednjih 10 dana u mesecu intenzivne kiše (55-60 mm), nakon koje je usledilo poniranje vode i isušivanje. Za ovaj mesec smo od mernih stanica izdvojili one kod Batide i Genčata, a zbog dužine perioda smo radili sa dnevnim prosecima i u cilju bolje preglednosti podataka smo prikazali samo vrednosti merene na dubinama od 10, 30 i 75 cm (Slika 6.4). Nakon majskog dopunjavanja smo zabeležili intenzivno isušivanje na obe lokacije, sa vrednostima vlažnosti koje su se značajno spuštale ispod poljskog vodnog kapaciteta. Iz serije podataka Batide, koja od svih mernih stanica važi za najviše sabijenu, dobro se vidi da su prethodne majske padavine zasitile gornje slojeve zemljišta, međutim donji slojevi su ostali suvi. Voda koja se zaustavila na gornjih 30 cm je u ovom slučaju poželjna, jer predstavlja rezervu za suvlje periode, istovremeno povećavajući verovatnoću pojave nagomilavajućih suvišnih unutrašnjih voda. Na Genčat-u je profil vlažnosti preseka tla mnogo ujednačeniji, mada i značajno suvlji. Od ovog izuzetak predstavlja dubina od 75 cm, gde se ne manifestuju spoljni meteorološke promene već kapilarni uticaj podzemnih voda (pod uticajem majskih kiša nivo podzemnih voda se podigao iznad 2

markáns, alatta 2-3 v/v% alatt maradt, míg Gencsháton 45 cm-en is 5 v/v%-os nedvességnövekedést okozott, alatta 60 cm-en azonban már a kapilláris vízemelés miatt nem volt kimutatható. Mindkét helyszínen összességében 20-25 mm közötti csapadék szivárgott be június utolsó napjaiban.

Következtetések, összefoglalás

A komplex hidrometeorológiai mérőállomások eddigi féléves működése során alkalmunk nyílt részletesen jellemezni a régióban előforduló főbb talajtípusok nedvességtartalmának változásait. A megelőző 2013-as év második felének kevés csapadéka miatt 2014 kezdetét rendkívül alacsony talajnedvességek jellemezték, melyek katasztrofális talajaszályt vetítettek előre. Az első két hónap viszonylag kedvező csapadékvizonyai ezt a helyzetet jelentősen javították, homoktalajaink és csernozjomaink márciusra már szántóföldi vízkapacitásig feltöltődve várták a vegetációs időszak kezdetét (Öreghegy, Kelebia, Kiskundorozsma, Röske). Az agyagosabb hidromorf talajok azonban – különösen, ha antropogén eredetű tömörödés is sújtja őket –, a csapadék ellenére sem tudtak megfelelően telítődni, s komoly vízhiánnyal kezdték a tavaszt. A májusi és júniusi 50-90 mm-es csapadékeseményeknek köszönhetően a növénytermesztés számára kedvező talajnedvességi állapotok továbbra is fennmaradtak, jelentős, több 10 mm-es beszivárgási értékekkel. Ugyanakkor a tömörödött talajok – akár csernozjomok! – továbbra is csak a felső néhány 10 cm-es rétegükbe képesek befogadni a bőségesen hulló csapadékot, és alsóbb szintjeik még június végén is a holtvíztartalom közelében lévő nedvességértékekkel jellemezhetők (Tápai-rét, Batida, Szentes-Fertő). Sajátos kivételt jelentenek azok a területek, ahol az esőzések hatására megemelkedő talajvizekből származó kapilláris vízemelés képes kompenzálni a

m). Tokom 22-25. júna provlaživanje je bilo primetno do 30 cm, ispod je ostalo manje od 2-3 v/v%, dok je na Genčhat-u i na 45 cm uzrokovao porast vlažnosti od 5 v/v%, ali ispod već na 60 cm kapilarno izdizanje nije moglo biti registrovano. Na obe lokacije infiltriralo se ukupno između 20-25 mm padavina u poslednjim danima juna.

Zaključak i rezime

Tokom polugodišnjeg rada kompleksnih hidrometeoroloških mernih stanica imali smo priliku za detaljno proučavanje promene sadržaja vlažnosti u glavnim tipovima zemljišta koji se javljaju u regionu. Zbog malih padavina u drugoj polovini prethode 2013., za početak 2014. su bile karakteristične izuzetno niske vlažnosti tla, koje su nagoveštavale katastrofalnu zemljišnu sušu. Relativno povoljni padavinski odnosi prva dva meseca su značajno popravili ovo stanje, naša peskovita tla i černoze mi su do marta već čekale početak vegetacionog perioda dopunjena do poljskog vodnog kapaciteta (Eregheđ, Kelebija, Kiškundorožma, Reske). Glinovitija hidromorfna zemljišta se međutim nisu uspela odgovarajuće zasiti - naročito ako su pogođena antropogenim sabijanjem, te su započela su proleće sa ozbiljnim nedostatkom vode. Zahvaljujući majskim i junskim količinama padavina od 50-90 mm okolnosti za uzgoj biljaka su i dalje ostale povoljne, sa značajnim vrednostima većih od 10 mm infiltracije. Istovremeno su sabijena zemljišta - čak i černoze mi! - i dalje bili sposobni da prime obilne padavine samo do nekoliko desetina cm slojeva, i za njihove donje horizonte je i za kraj juna karakteristična količina vlažnosti bliska tački venjenja (Tapai rét, Batida, Senteš ferte). Svojevrсни izuzetak čine oni prostori, koji su izostanak porasta vlažnosti, koji se javio zbog slabe infiltracije, mogli kompenzovati preko kapilarnog uticaja

gyér beszivárgás miatt elmaradó nedvességnövekedést (Gencshát).

A rövid, alig féléves talajnedvesség-monitoring is rávilágít arra, hogy rendkívül fontos talajaink eredeti szerkezetének megőrzése, a szerkezetszétesés és a tömörödés megelőzése, mivel ezen folyamatok térhódításával óriási vízkészlet természetes tározásától fosztjuk meg vízhiányos Alföldünket (Várallyay et al. 1980).

6.1.2. Műholdas talajnedvesség becslési lehetőségek az aszály megfigyelésében és előrejelzésében

*Boudewijn van Leeuwen, Tobak Zalán,
Ladányi Zsuzsana, Blanka Viktoria*

Bevezetés

A talajnedvesség folyamatos becslése lehetővé teszi a talaj víztartalmában bekövetkező változások dinamikus megfigyelését. A változás trendjeinek és irányainak meghatározása hozzájárulhat az aszály vagy belvíz előrejelzéséhez. Annak ellenére, hogy a talajnedvesség fontos paraméter számos alkalmazásnál, annak széleskörű és/vagy folyamatos mérése ritka (Patel et al. 2009). Egy másik probléma a pontszerű mérések kiterjesztésének korlátozott lehetősége nagyobb területekre. Ezek megoldásában a távérzékelte adatoknak nagy szerepe lehet. A távérzékeléses adatok nagy területre elérhetőek nagy időbeli felbontással.

A talajnedvesség mérésére két távérzékelési módszer létezik. Az egyik passzív mikrohullám adatot használ, melynek alapja a nagy eltérés a víz és a száraz talaj dielektromos tulajdonságai között (az előbbi ~80, utóbbi <4). A dielektromos állandó értéke fordítottan arányos a talaj emissziójával. A talaj emisszióját a mikrohullámú műhold adatokból határozzák meg (Owe et al. 1992, Schmugge et al. 2002, Wang 2008). A módszer előnye, hogy szilárd fizikai alapja van, és az adatok

rástúcih podzemnih voda usled padavina (Genčhat).

Kratak, jedva polugodišnji monitoring otkriva, da je vrlo važno očuvanje prvobitnih struktura naših zemljišta, sprečavanje raspada strukture i sabijanja, pošto širenjem ovih procesa lišavamo naš sušni Alfeld od ogromnih vodenih resursa (Várallyay et al. 1980).

6.1.2. Procena vlažnosti zemljišta na osnovu satelitskih snimaka za monitoring i predviđanje poljoprivredne suše

*Boudewijn van Leeuwen, Tobak Zalán,
Ladányi Zsuzsana, Blanka Viktoria*

Uvod

Kontinuirano procenjivanje vlažnosti zemljišta omogućava dinamički monitoring razvoja vlažnosti u zemljištu. Trend i pravac mogu da se koriste kao sistem za rano upozoravanje za buduću pojavu suše ili suvišnih unutrašnjih voda. Iako je vlažnost zemljišta važan parametar u mnogim aplikacijama, kontinuirana merenja vlažnosti zemljišta su retka (Patel et al. 2009). Drugi problem je ograničena mogućnost primene merenja u tačkama na veće prostore. Ovi problemi se mogu rešiti korišćenjem podataka dobijenih daljinskom detekcijom. Daljinsko osmatranje pokriva veće površine i može se izvršiti sa većom vremenskom rezolucijom. Postoje dve opšte grupe za procenu vlažnosti zemljišta zasnovane na tehnikama daljinskog osmatranja. Prvi koriste podatke iz pasivnih mikrotalasnih instrumenata. Metod je zasnovan na velikoj razlici u dielektričnim osobinama tečne vode (~80) i suvog zemljišta (<4). Dielektrična konstanta je obrnuto proporcionalna emisivnosti zemljišta. Emisivnost zemljišta se može dobiti iz mikrotalasnih satelitskih podataka data (Owe et al. 1992, Schmugge et al. 2002, Wang 2008). Prednost metoda je da ima čvrstu fizičku zasnovanost i da se podaci

minden időjárási körülmény között begyűjthetők. A módszer hátránya a jelenlegi passzív mikrohullámú szenzorok alacsony felbontása, valamint a növényzet erőteljes zavaró hatása (Wang 2008, Vicente-Serrano et al. 2004). A másik módszer az elektromágneses spektrum látható, közeli infravörös és termális infravörös sávok adatainak kombinációit használja. A látható és infravörös-közeli sávokat arra használják, hogy kinyerjék a növényzet relatív mennyiségét, melyet gyakran a Normalizált Vegetációs Indexszel (NDVI) vagy a növényborítás arányával (F_r) fejezik ki. A termális sáv adatait a földfelszín hőmérsékletének (LST) számítására használják. Ezeknek a módszereknek az alapfeltételezése az, hogy a hasonló növényborítottsággal rendelkező területek közti hőmérséklet különbségeinek oka a talajnedvességükben bekövetkezett változások (Vicente-Serrano et al. 2004). Számos szerző sikeresen becsülte a talajnedvességet ezen elv alapján. Például, Patel et al. (2009) jelentős összefüggést azonosított, amikor összehasonlította a felszíni nedvesség, a növényzet felszíni hőmérséklet, valamint a mért talajnedvesség értékeit; valamint Mallick et al. (2009) ASTER és MODIS adatokból LST-NDVI tereket hozott létre, és kiértékelte azok alkalmazhatóságát a talajnedvesség becslése szempontjából. Egyértelmű összefüggést találtak az AMSR-A mikrohullámú mérésekkel a gyébrebb növényzetű területek esetében. Előnye ezeknek a módszereknek, hogy viszonylag egyszerűek, és az alapadatok globális léptékben, közepes térbeli és nagy időbeli felbontásban hozzáférhetőek.

Számos korlátja van a LST-NDVI alapú talajnedvesség méréseknek. A vizsgált terület lehet, hogy nem fedi le a növényzet osztályok teljes skáláját (a kopár talajtól a sűrű növényzetig), ezért az LST-NDVI teret nem lehet teljes mértékben meghatározni. Továbbá, mivel a módszer alapját a távérzékelte felszíni hőmérséklet (LST) adatok adják, csupán a felső

mogu prikupljati u svim vremenskim uslovima. Nedostaci su niska rezolucija trenutnih pasivnih mikrotalasnih senzora i jako ometanje metoda od strane vegetacije (Wang 2008, Vicente-Serrano et al. 2004).

Druga grupa tehnika koristi kombinaciju podataka prikupljenih u vidljivom, blisko infracrvenom i termalnom infracrvenom delu elektromagnetnog spektra. Vidljivi i blisko infracrveni deo spektra se koriste da se dobije relativna količina vegetacije, koja se često izražava preko Normalizovanog diferencijalnog vegetacionog indeksa (NDVI) ili udela vegetacionog pokrivača (F_r).

Termalni podaci se koriste za proračunavanje površinske temperature zemljišta (Land surface temperature - LST). Osnovna pretpostavka ovih metoda je da su temperaturne razlike na prostorima sa sličnom vegetacijom rezultat promena u njihovoj vlažnosti zemljišta (Vicente-Serrano et al. 2004). Mnogi autori su uspešno dobili procene vlažnosti zemljišta na osnovu ovog principa. Na primer Patel et al. (2009) su pronašli snažnu i značajnu povezanost prilikom poređenja površinske vlažnosti dobijene na osnovu parametara vegetacije i površinske temperature sa merenjima vlažnosti zemljišta na licu mesta, a Mallick et al. (2009) su koristili ASTER i MODIS podatke za dobijanje LST-NDVI razlika i za evaluaciju njihove upotrebljivosti za procenu vlažnosti zemljišta.

Našli su umerenu korelaciju sa merenjima mikrotalasnog sondiranja sa AMSR-A za površine sa manje vegetacije. Prednost ovih metoda je da su oni relativno jednostavni i da su osnovni podaci raspoloživi na globalnom nivou, u srednjoj i visokoj prostornoj i vremenskoj rezoluciji. Postoji nekoliko ograničenja procene vlažnosti zemljišta zasnovanih na razlici LST-NDVI. Ispitivano područje ne može da pokrije pun raspon vegetacionih klasa (od ogoljenog zemljišta do dobro razvijene, guste vegetacije), te se stoga LST-NDVI razlike ne mogu u potpunosti odrediti. Dalje, pošto je ovaj metod zasnovan na

néhány millimétertől 1 centiméterig jellemző talajnedvesség „mérhető”, azonban a növényzetten keresztül közvetve a gyökérnedvesség is figyelembe vehető. Az űrfelvételekből származó LST és NDVI értékek hibákat is tartalmazhatnak, amelyek az SMI számítását befolyásolják (Carlson 2007, Mallick et al. 2009).

Tanulmányunk célja egy munkafolyamat kidolgozása volt, mellyel dinamikusan becsülhető a talajnedvesség, hogy közepes méretarányban MODIS műholdfelvételek segítségével elemezhessük az Alföld vízháztartását. Ezért egy teljesen automatizált folyamatot fejlesztettünk ArcGIS térinformatikai funkciók és számos Python program alapján, hogy a MODIS növényzet és földfelszíni hőmérséklet adatokból talajnedvesség index térképeket hozzunk létre. A MODIS 250-1000 m felbontású adatai 36 sávval rendelkeznek, lefedve az elektromágneses spektrum láthatótól a termális sávig tartó részét. Ehhez a tanulmányhoz 3 vegetációs index (MOD13) és 36 földfelszíni hőmérsékleti és emisszió képet (MOD11) használtunk fel. Minden kép nagyjából 1 100 x 1 100 km-es területet fed le.

Módszerek

A talajnedvesség index (SMI) becslésének alapadatai vegetációs index (MOD13) és felszíni hőmérséklet és emisszió (MOD11) adatok. Regisztráció után ezek ingyenesen letölthetők az USGS Earth Explorer weboldáról. Jelen tanulmányban MOD13A1 adatokat használtunk, mely (többek közt) NDVI, EVI vegetációs index, valamint adatminőség (QA) réteget tartalmaznak. Az adathalmaz 16 nap méréseiből tevődik össze a kék, vörös és közeli-infravörös sávokban, térbeli felbontása 500 m. Mindkét indexet atmoszférakusan korrigált, kétirányú felszíni visszaverődési együtthatóból számolják, melyet víz, felhő, erős aeroszol és felhő vetette árnyékokkal javítanak. A QA réteg egy bináris fájl, ahol minden pixel információ a pixel megbízhatóságról tájékoztat. A második bemenő adat a MOD11A1, mely (töb-

LST podacima dobijenih daljinskom detekcijom, samo nekoliko milimetara do 1 cm gornjeg sloja zemljišta su „merena”, iako se kroz vegetaciju indirektno uzima u obzir i vlažnost korena. Takođe LST i NDVI vrednosti dobijene sa satelitskih slika mogu da sadrže greške koje prelaze i na SMI proračun (Carlson 2007, Mallick et al. 2009). Cilj ove studije je da se razvije postupak za dinamičke procene vlažnosti zemljišta za analizu vodnog bilansa u srednjoj razmeri u Velikoj Mađarskoj Ravnici koristeći MODIS satelitske podatke. Stoga je razvijena potpuno automatizovana procedura zasnovana na ArcGIS funkcionalnosti za geoprocesiranje i nekoliko Python programa za prerađu satelitskih podataka MODIS vegetacije i površinske temperature u karte indeksa vlažnosti zemljišta. Spektrometar srednje rezolucije (MODIS) ima 36 opsega koji pokrivaju delove elektromagnetnog spektra od vidljivih do termalnih sa prostornom rezolucijom koja se kreće od 250 do 1000 metara. Za ovu studiju korišćeno je 11 slika Vegetacionih indikatora (MOD13) i 36 površinske temperature i emisivnosti zemljišta (MOD11). Svaka slika pokriva oko 1100 x 1100 km.

Metodi

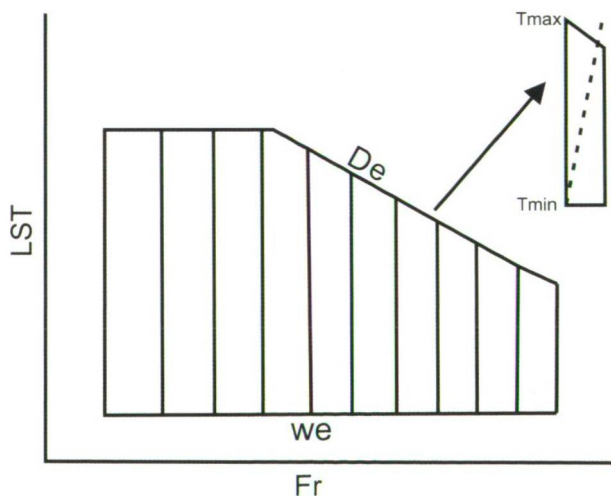
Osnovni podaci za postupak procene indeksa vlažnosti zemljišta (soil moisture index estimate - SMI) su proizvodi vegetacionog indikatora (MOD13) i površinske temperature i emisivnosti zemljišta (MOD11). Nakon registracije, ovi se mogu preuzeti besplatno sa internet stranice USGS Earth Explorer-a. Za ovu studiju, korišćen je proizvod MOD13A1 koji se sastoji od – između ostalih – Normalizovanog diferencijalnog vegetacionog indeksa (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), Pojačanog vegetacionog indeksa (Enhanced Vegetation Index - EVI) i sloja kvaliteta podataka (QA). Ovi skupovi podataka se sastoje od 16 dana merenja u plavim, crvenim i blisko infracrvenim spektralnim opsezima i imaju prostornu rezoluciju od 500 m. Oba indikatora se računaju iz atmosferski korigovanih dvosmernih

bek között) 1 km-es felbontású napi földfelszín hőmérséklet (LST) réteget tartalmaz. A hőmérsékletet mozgó ablakos algoritmussal nyerjük. Ez az adat is tartalmaz QA réteget, mely jelzi, hogy az adatfeldolgozás eredményei számszerűek vagy nem megfelelőek voltak, illetve ha olyan egyéb feltételeket vettek figyelembe pixel szinten, ami befolyásolja a felhasználhatóságot.

Az SMI munkafolyamat első lépése az NDVI és QA rétegek importálása a MOD13A1 adatokból. A QA rétegről minden 2112-es, 2116-os vagy 2120-as kódú pixelt eltávolítunk, majd fedvény térképet készítünk belőle. Így csak azokat az NDVI pixeleket vesszük figyelembe, melyek „jó minőségűek”. Az eredeti NDVI felvételek 16 bit-es adatok, melynek értékei -2 000 és 10 000 közöttiek, ezért a pixelértékeket együtthatóval szoroztunk, hogy azok -1 és 1 közé eső számok legyenek. Végezetül az adatokat a vizsgált mintaterületre vágjuk ki.

A következő lépés az NDVI adatok normalizálása a negatív értékek eltávolítása érdekében, hogy 0 és 1 közötti mutatószámot hozzunk létre:

površinskih refleksija koje su maskirane za vodu, oblake, guste aerosole i senke oblaka. QA sloj je binarno kodiran fajl gde se za svaki piksel daje informacija za pouzdanost piksela. Drugi skup ulaznih podataka je MOD11A1 proizvod, koji sadrži – između ostalih – sloj sa dnevnim temperaturama površine zemljišta (LST) sa rezolucijom od 1 km. Temperature se dobijaju sa algoritmom prozora za odvajanje. Ovaj proizvod takođe dolazi sa QA slojem koji označava da li su rezultati algoritma za obradu bili nominalni, abnormalni ili da li su otkrivene neke druge pojave na nivou piksela koje bi sprečile korišćenje proizvoda. Prvi korak SMI postupka je uvoz NDVI i QA slojeva iz MOD13A1 proizvoda. Iz QA sloja, svi pikseli sa kodovima 2112, 2116 ili 2120 su izdvojeni i pretvoreni u kartu za maskiranje. Koristeći masku, samo oni NDVI pikseli se izdvajaju koji su “dobrog kvaliteta”. Originalni NDVI podaci se čuvaju u 16 bita, sa rasponom od -2.000 do 10.000, i stoga su svi maskirani pikseli pomnoženi sa faktorom razmere da bi se podaci vratili nazad u raspon od



6.5. ábra LST-Fr terének képzeletbeli háromszöge (Vicente – Serrano et al., 2004 alapján)

De: száraz; We: nedves

Slika 6.5 Teorijski LST-Fr prostor (na osnovu Vicente – Serrano et al., 2004)

De:suvo; We: mokro

Fig.6.5 Theoretical triangular LST-Fr space (based on Vicente- Serrano et al. 2004)

(De: dry edge; We: wet edge)

$$N = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})$$

Gilles et al. (1997) meghatározta a $F_r \approx N^2$ összefüggést, ahol F_r a növényborítás aránya. Az LST és F_r egy képzeletbeli háromszöget alkotnak, ahol a nedves területek alkotják a háromszög alsó részét, és a száraz területek a felső átlót (Vincente – Serrano et al., 2004; Carlson 2007, Mallick et al. 2009, Patel et al. 2009) (6.5. ábra).

A következő lépésben az N térképet F_r térképpé alakítjuk, és az F_r értékek egyenlő intervallumokba való besorolásával 10 altérképet hozunk létre növekvő vegetáció borítással.

A munkafolyamat következő részében az LST térkép előfeldolgozása következik. Az eredeti nappali földfelszíni hőmérséklet értékeket a MOD11A1 adatokból importáljuk és fedetjük a QA réteggel, ahol minden 0 értékű pixelt (mely nominális adatot jelöl) hasznos adatként választjuk ki. Számos LST fájlnál nagy területek maradtak ki, mivel a felhőborításnak köszönhetően nincsenek megfelelő LST értékek. Az LST értékeket szorzó tényezővel szorozzuk, hogy a hőmérsékleteket Kelvin értékekben kapjuk meg. Ezt követően az 1 000 m térbeli felbontású LST adatokat újraosztályozzuk, hogy egyezzenek az NDVI adatok geometriájával és 500 méteres felbontásával. Végezetül, az adatokat a mintaterületre kivágjuk.

A bemutatott módszer lineáris összefüggést feltételez az LST és a talajnedvesség között egy F_r osztályon belül, ezért mindegyik F_r térkép esetében a legalacsonyabb és legmagasabb LST pixelt választottuk ki. A legalacsonyabb LST értékű pixel egy adott F_r osztályban 1-es talajnedvességi értéket kap, és a legmagasabb LST értékű pixel 0-ás talajnedvességi értéket kap. Az SMI talajnedvesség értéket az i -edik F_r térkép közepes pixelekre a következőképpen számítjuk:

$$SMI_i = (LST_{\min} - LST) / (LST_{\max} - LST_{\min}) + 1$$

Ennek eredménye egy SMI térkép a 10 F_r térkép mindegyikére. Az utolsó lépésben az ösz-

-1 do 1. Na kraju, izdvaja se prostorni podskup podataka koji odgovara istraživanom području.

U sledećem koraku, NDVI podaci su normalizovani do eliminisanja negativnih vrednosti i dobijanja indeksa između 0 i 1:

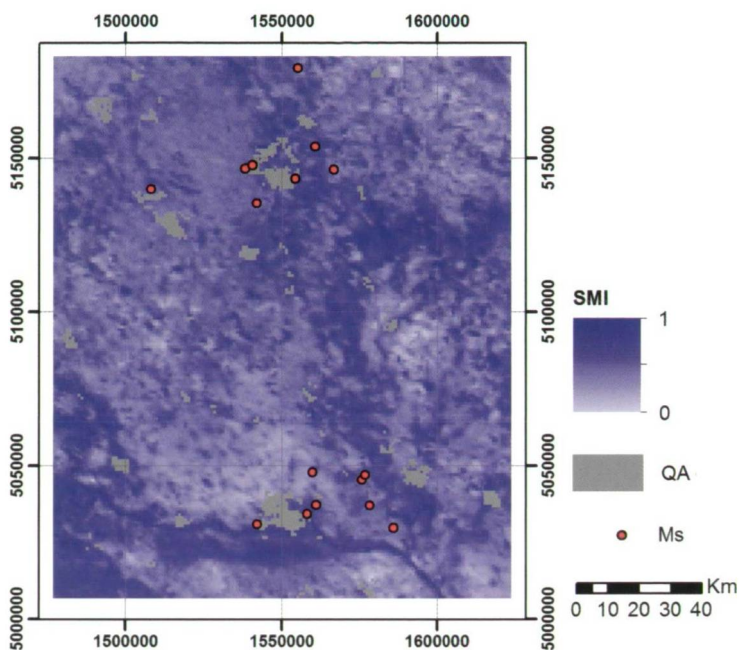
$$N = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})$$

Gilles et al. (1997) je ustanovio odnos $F_r \approx N^2$, gde je F_r tzv. udeo vegetacionog pokrivača. LST i F_r čine teoretski trougaoni prostor, gde vlažne oblasti formiraju donju granicu prostora a suve gornju dijagonalnu (Vincente-Serrano et al. 2004, Carlson 2007, Mallick et al. 2009, Patel et al. 2009) (Slika 6.5).

U sledećem koraku, N mapa se transformiše u F_r mapu i – reklasifikacijom F_r vrednosti u jednake intervale – stvara se 10 podskupova sa sve većom gustinom vegetacije.

U sledećem delu postupka, LST mapa se prerađuje. Originalne vrednosti dnevnih površinskih temperatura zemljišta se učitavaju iz MOD11A1 skupa podataka i maskiraju na osnovu QA sloja, gde se svi pikseli sa vrednošću 0, koji označavaju nominalne podatke, izdvajaju kao korisni podaci. U mnogim LST fajlovima, veliki prostori su izuzeti, pošto LST vrednosti nisu napravljene zbog oblaka. Maskirane LST vrednosti su pomnožene sa faktorom razmere da bi se dobile temperature u Kelvinima. Tada se LST podaci sa prostornom rezolucijom od 1000 metara ponovno uzorkuju da bi odgovarali rezoluciji i geometriji NDVI podataka od 500 m. Na kraju se od LST podataka stvara prostorni podskup podataka koji pokriva istraživano područje.

Prikazani metod pretpostavlja linearnu povezanost između LST i vlažnosti zemljišta u okviru jedne F_r klase, stoga se za svaku F_r mapu pikseli sa najvećom i najmanjom vrednošću izdvajaju sa LST mape. Piksel sa najnižim LST vrednostima u određenoj F_r klasi dobija vrednost vlažnosti zemljišta od 1 i piksel sa najvećim LST dobija vrednost vlažnosti zemljišta od 0. Vrednost vlažnosti zemljišta SMI za F_r mapu i za piksele u sredini je izračunato kao:



6.6. ábra Talajnedvesség index térkép, 2014. március 13.

(QA: nem megfelelő minőségű adatok; Ms: terepi mérőállomások)

Slika 6.6 Karta indeksa vlažnosti zemljišta za 13. mart 2014.

(QA: podaci neodgovarajućeg kvaliteta; Ms: terenska merena stanica)

Fig. 6.6 Soil moisture index map of 13th March 2014

(QA: Low quality data; Ms: Measurement stations)

szes SMI_i térképet egyesítettük a mintaterületre (6.6. ábra). Ez a térkép a terület talajnedvességének területi eloszlását mutatja egy adott időpillanatban, ahol a 0 a legalacsonyabb talajnedvességet jelöli, míg az 1-es a legmagasabbat.

Talajnedvesség becslés műholdas adatok felhasználásával

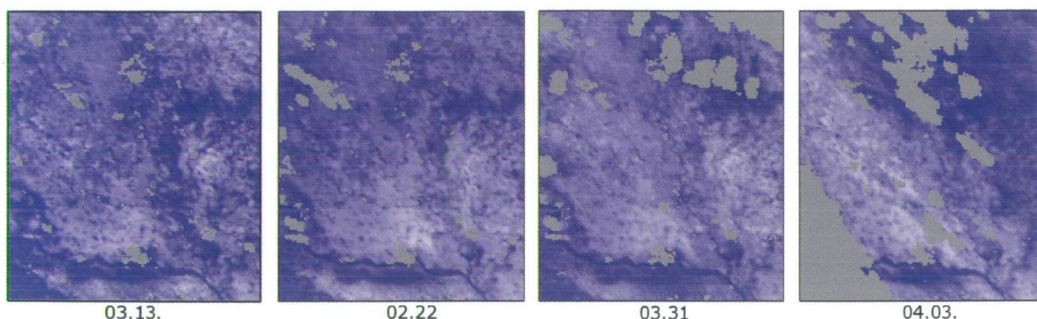
Az SMI_i térképeket 2014. március 1-től 2014. április 13-ig terjedő periódusra számítottuk, hogy a meghatározzuk a talajnedvesség változását a mintaterületen. A vizsgált 4 nap eredménytérképei láthatóak a 6.7. ábrán. A folyók délen, valamint az erdők tisztán láthatók a képeken. A teljes mintaterület nagyobb változatosságot mutat talajnedvesség szempontjából az első és utolsó, mint a köztes napokon. LST adatokat csak felhő-

$$SMI_i = (LST_{min} - LST) / (LST_{max} - LST_{min}) + 1$$

Ovim se dobja SMI_i mapu za svaki od 10 Fr mapa. U završnom koraku, sve SMI_i mape se kombinuju da bi formirale SMI mapu potpunog istraživanog područja (Slika 6.6). Ova karta pokazuje prostornu distribuciju vlažnosti zemljišta u području u datom vremenskom trenutku, gde 0 označava najnižu vlažnost zemljišta a 1 najveću.

Procene vlažnosti zemljišta na osnovu satelitskih podataka

SMI mape su izračunate za period od 1. marta 2014. do 13. aprila 2014. da bi se odredila promena u prostornoj distribuciji vlažnosti zemljišta u oblasti. Dobijene karte za četiri dana su prikazane na slici 6.7. Reke na jugu i



6.7. ábra 4 nap SMI térképei (március 13 – április 3.)

Slika 6.7 SMI karte za 6 dana (13 Mart – 3 April)

Fig. 6.7 SMI maps for 6 days (13 March – 3 April)

mentes területekről lehet gyűjteni, ezért március 31-ről, és legfőként április 1-ről sok területről nincs adatunk, így ezeken a területeken SMI index értékeket nem lehetett számítani.

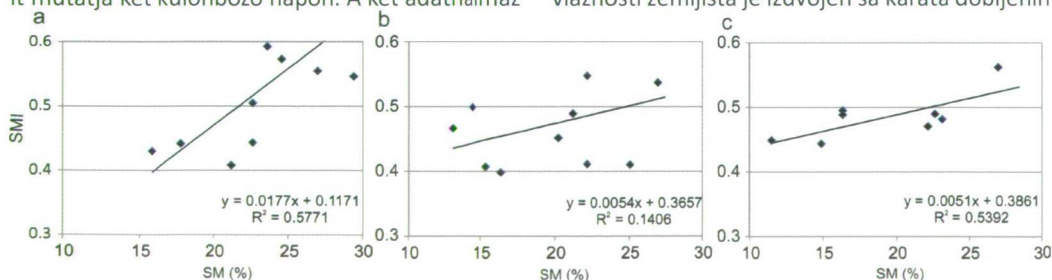
Wang (2008) és Mallick et al. (2009) hasonló megközelítései nyomán a műholdas alapú SMI értékeket összehasonlítottuk a terepi talajnedvesség (SM) mérésekkel. A határ mindkét oldalán 8-8 állomás gyűjti 2014. január végétől minden órában a talajnedvességi adatokat 6 különböző mélységben (-10-től -75 cm-ig), Decagon EC 5 szenzorok segítségével (Jovanović et al., 2013).

A mérőállomások helyén a talajnedvesség értékeket kivettük a műholdas térképekről. Két állomás adatait kihagytuk, mivel ezek nem voltak reprezentatívak a környező 1 km-es területre (SMI feltérképezés térbeli eloszlása). Az 6.8. ábra az SMI értékek és a terepi talajnedvességek összefüggéseit mutatja két különböző napon. A két adathalmaz

pošumljene oblasti su jasno vidljive na kartama. Takođe, celo istraživano područje pokazuje veću varijaciju vlažnosti zemljišta na prvom i poslednjem danu, nego u danima između. LST podaci se mogu prikupljati samo u područjima bez oblačnosti, stoga 31. marta i naročito 3. aprila u mnogim delovima nedostaju podaci i za te lokacije se SMI ne može izračunati.

Sledeći pristupe slične Wang-u (2008) i Mallick et al. (2009), SMI vrednosti dobijene na osnovu satelitskih podataka su poređene sa terenskim merenjima vlažnosti zemljišta (VZ). Sa obe strane granice postavljeno je po osam stanica i od kraja januara 2014 svakih sat vremena je merena vlažnost zemljišta na 6 različitih dubina (od -10 do -75 cm) sa dekaon EC5 senzorima za zapreminski sadržaj vode (Jovanović et al., 2013).

Na lokacijama mernih stanica, indeks vlažnosti zemljišta je izdvojen sa karata dobijenih



6.8. ábra Három napi szórásgörbe műholdas talajnedvesség és földi mérések alapján

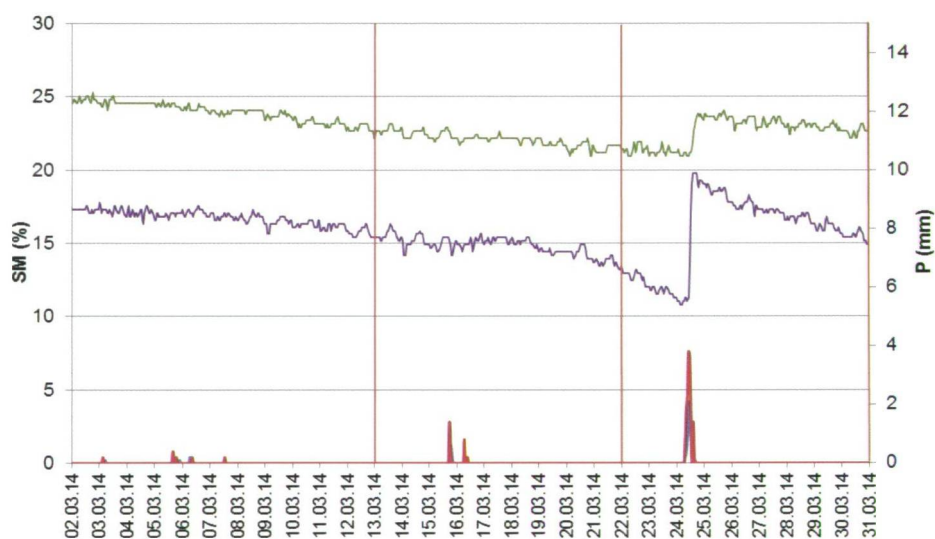
(a, március 13; b, március 22; c, március 31.)

Slika 6.8 Dijagrami rasipanja vrednosti vlažnosti zemljišta dobijenih putem satelita i terenskih merenja za tri dana (a, 13. mart; b, 22. Mart; c, 31. mart)

Fig. 6.8 Scatterplots of three days of satellite derived soil moisture and ground measurements (a, 13 March; b, 22 March; c, 31 March)

közi összefüggés nem erős azokban az időszakokban, amikor a terepi mérések rendelkezésre álltak. Ennek fő oka a méretaránybeli különbség a két adathalmaz között. A pontszerű mérések térbeli reprezentativitása a mérőállomás körül maximum pár száz négyzetméterre korlátozódik, míg a műholdas adat egy 1 km²-es terület integrált mérése. Továbbá, a terepen a talajnedvességet 10 cm-es mélységben mérik Magyarországon, és 20 cm-es mélységben Szerbiában, míg a műhold csupán földfelszíni hőmérsékletet érzékel. A 6.9. ábrán a

satelitskim snimanjem. Podaci sa dve stanice su izostavljeni jer nisu reprezentativni za okolnu zonu od 1 km (prostornu distribuciju SMI kartiranja). Slika 6.8 pokazuje dijagrame rasipanja terenskih merenja VZ i SMI vrednosti dobijene satelitskim merenjem za dva različita dana. Povezanost dva skupa podataka tokom perioda kada su terenska merenja raspoloživa nije vrlo jaka. Glavni razlog je što su velike razlike u razmerama između skupova podataka. Prostorna reprezentativnost merenja u tačkama je ograničena na najviše



6.9. ábra Csapadék (piros) és állomáson mért talajnedvességi adatok (kék) két magyarországi állomáson; a függőleges vonalak a műholdas képek dátumát jelzik

Slika 6.9 Padavine (crvena) i podaci vlažnosti zemljišta sa stanica (plava) na 2 merne stanice u Mađarskoj, vertikalne linije pokazuju datume satelitskih snimaka

Fig. 6.9 Precipitation (red) and station soil moisture data (blue) on 2 Hungarian stations, vertical lines show the date of satellite images

csapadék és SM látható a vizsgált periódusban két magyarországi állomás esetében. Március első fele (március 13. előtti SMI térkép) egy hosszú szárazabb periódus volt, és március 13-án magasabb korreláció ($R^2=0.57$) figyelhető meg a műholdas alapú SMI és a terepen mért talajnedvesség között. Nincs jelentős kapcsolat a paraméterek között ($R^2=0.14$) március 22-én (kisebb esőzés után), melynek oka a talajok különböző víztartó képessége, valamint a beszívargás. Ismét magasabb össz-

nekoliko stotina metara, dok se satelitski podatak odnosi na zbir merenja sa površine od 1 km². Dalje, terenski podaci se mere na dubini od 10 cm (Mađarska) i 20 cm (Srbija) dok satelit meri samo površinsku vlažnost. Slika 6.9 pokazuje padavine i VZ u posmatranom periodu na dve stanice u Mađarskoj. Prvi deo marta (SMI karta od pre 13 marta) je bio dugačak suv period, i veća korelacija je zabeležena 13. marta ($R^2=0.57$). Skoro nikakva povezanost između parametara nije iskazana

szefűgűgűs ($R^2=0.54$) azonosítható március 31-én a csapadékesemény után.

Következtetések

SMI térképek MOD11 és MOD13 adatokból automatikusan előállíthatóak a fent vázolt munkafolyamat segítségével. A térképek a talajnedvesség térbeli eloszlását jól leírják egy adott időpillanatban. A növényborítás arányának térképét javítani lehet azáltal, hogy a csupasz talajfelszín osztályokhoz talajtípus információkat integrálunk.

A helyi pontmérések és az SMI kapcsolata nem túl erős, ezért a relatív SMI térképek abszolút kalibrálása nem kivitelezhető. Hosszabb adatsorok használata javíthatja a kalibrációt, és csapadékesemények hatását a korrelációra tovább lehetne vizsgálni. Számos lehetséges fejlesztése létezik a módszernek. Többek között, az SMI értékek abszolút kalibrálása javíthatja a terepen mért talajnedvességgel való kapcsolatot. A talajtípus információk integrálása pedig javíthatja az $LST - F_r$ összefűgűgűst. Az NDVI helyett más, pl. EVI vagy LAI indexek használata jobb F_r adatokat eredményezhet, melyek hozzájárulhatnak a $LST - F_r$ összefűgűgűs javulásához is.

6.2. A felszíni vizek monitoring és modellezési lehetőségei

6.2.1. A felszíni vízborítás hosszú távú változásának monitorozási lehetőségei

Kovács Ferenc

Bevezetés

A XVIII. század második felében még körülbelül 75 %-ban természetközeli Alföldön a vízenyűs térszűnek az ár- és belvízrendezés hatására az 1960-as évekre jelentűsen visszaso-

($R^2=0.14$) 22. marta (posle manjih padavina), što moűe biti uzrokovano različitim kapacitetima zadržavanja vode zemljišta i zbog infiltracije. Opet, većá korelacija ($R^2=0.54$) je bila utvrđena 31. marta, nakon kiűe.

Zaključak i diskusija

SMI karte na osnovu MOD11 i MOD13 proizvoda mogu biti automatski kreirane sa predstavljenim postupkom. Mape daju dobar pregled prostorne distribucije vlaűnosti zemljišta u specifičnom vremenskom trenutku. Karte udela vegetacionog pokrivača mogu biti pobolűšane ukljućivanjem informacije o tipu zemljišta u klasi ogoljenog zemljišta.

Povezanost sa lokalnim merenjima u tačkama nije suviše jaka, te stoga apsolutna kalibracija SMI mapa nije mogućá. Koriűćenje duűe serije podataka moűe pobolűšati kalibraciju i uticaj padavina na korelaciju moűe biti ispitan. Postoje mnoga mogućá pobolűšanja metoda. Između ostalih, apsolutna kalibracija SMI vrednosti moűe da pobolűša povezanost sa merenjima u tačkama. Takoűe, dodatne informacije o tipu zemljišta mogu pobolűšati kreiranje $LST - F_r$ prostora. Koriűćenje EVI ili LAI umesto NDVI moűe da daje bolje rezultate F_r podataka i stoga da pobolűša takoűe i $LST - F_r$ prostor.

6.2. Potencijali za monitoring i modeliranje povrűinskih voda

6.2.1. Mogućnosti dugoročnog monitoringa povrűinskih voda

Kovács Ferenc

Uvod

Dok je u drugoj polovini XVIII veka, 75% povrűine velike maűarske ravnice bilo pokriveno netaknutim, povremeno vodom pokrivenim povrűinama, ove oko 1960-e su

rultak (Somogyi 2000). Az állandó, vagy időszakos vízborítás aránya ma alig több mint 2-3 %, jóllehet ez a vízrendezések előtt még 30-35 % volt. A folyószabályozások következtében a XIX. század végétől megszűnt a rendszeres vízborítás a folyómenti tájakon, majd az ember a XX. század második felére a belvízrendezéssel tovább csökkentette az időszakos vagy állandó vízborítottságú területek nagyságát. Az emberi hatások mellett az 1980-as évektől az éghajlat felerősödő szárazodása tovább rontotta a csapadék mennyiségétől jelentősen függő területek állapotát (Iványosi 1994, Boross és Biró 1999, Hoyk 2006). Az emberi hatásra ekkortól megjelenő (másodlagos) szikesek területe napjainkban is tovább nőhet, mivel a melegedő és szárazodó klíma a természetes talajfolyamatokat a szikesedés és a sztyeppesedés felé tereli (Rakonczai és Kovács 2006, Csorba 2011).

Földrajzi szempontból a vízborítottság, mint lokális sajátosság lehet az az uralkodó szerepű tájalkotó tényező (indikátor), melynek dinamikája kulcsfontosságú a felgyorsuló táji degradációs folyamatokban. Legfontosabb a térben megadott információ és a változás intenzitásának a meghatározása, melyek a térinformatikai lehetőségek fejlődésével egyre pontosabban és részletesebben vizsgálhatóak.

Módszerek

A táji átalakulás meghatározó tényezőjének, a vizes területek kiterjedtségének alakulásában a legkorábbi, pontos térképi adatokból kiindulva az időnként rendelkezésre álló térbeli adatokat (topográfiai térképek, műholdképek) együttesen dolgozzuk fel. Az időszakonkénti állapotok közötti különbségek mértéke és az így kirajzolódó folyamat sebessége döntő jelentőségű a folyamatok szempontjából. A műholdfelvételek esetében az elemzéshez az összehasonlíthatóság érdekében a mintaterület szempontjából elvileg legkedvezőbb – legvi-

se значajno smanjile, usled odvodnjavanja i izgradnje brana (Somogyi 2000). Stalno ili privremeno vodom pokrivena površina danas iznose jedva 2-3%, iako je to pre odvodnavanja iznosilo 30-35 %. Zbog odvodnjavanja od kraja devetnaestog veka, pored reka nestale su površine pokrivena vodom, pa do druge polovine XX veka, odvodnjavanjem površinskih voda, dalje je opadala veličina vodom pokrivenih površina. Pored ljudske intervencije, od 1980-tih godina, povećanje broja sušnih godina, negativno je uticalo na stanje zemljišta, zavisnih od količine padavina (Iványosi 1994, Boross i Biró 1999, Hoyk 2006). Zbog antropogenog uticaja danas još više se povećavaju (sekundarne) slane stepe, jer toplija i suvlja klima prirodne procese u zemljištu pomera prema salinizaciji (Rakonczai i Kovács 2006, Csorba 2011).

Sa geografske strane gledišta, vodopokrivenost, kao lokalna osobina, može da bude onaj dominantni faktor pejzaža (indikator), čija dinamika je od ključnog značaja za sve brže degradacione procese predela. Najbitnije je određivanje informacije zadate u prostoru i promena intenziteta, koje mogu biti sve tačnije i detaljnije ispitivane razvojem prostorno-informatičkih sistema.

Metodi

Determinantu transformacije pejzaža, što se tiče evolucije močvarnih površina, obrađujemo pomoću najranijih prostornih podataka (topografske karte, satelitski snimci), zajednički, bazirano na tačnim mapama. Obim razlike između povremenih stanja i brzina tako nastalih procesa su od bitnog značaja za date procese. U slučaju satelitskih snimaka, zbog uporedivosti, za svaku ispitivanu godinu teoretski uzimamo za uzorkovani teren najbolja – najvlažnija –

zesebb – állapotokat vizsgáltuk minden vizsgált év esetében, ezért lehetőség szerint júniusi felvételeket vettünk fel az adatsorba. A vizes élőhelyek helyzete kritikusnak mondható, ha ez a legkedvezőbb állapot is rossz képet mutat.

A hosszú távú változások elemzése mellett a változékonyság mértékének ismerete befolyásolhatja a változásról kialakított véleményünket is, hiszen minél nagyobb egy foltra vonatkozó változékonyság, annál bizonytalanabbá válik a változás trend jellege. A változékonyság értékelését a nagy időfelbontással és nagyobb térbeli felbontással készülő elemzések teszik lehetővé (Kovács 2009). A vizes területek változásának elemzéséhez fontos a szélsőséges helyzetek elemzése. A klímaváltozás helyi hatásai között szerepel a rövid idő alatt lehulló csapadékok gyakoriságának, illetve az aszály megjelenési gyakoriságának a növekedése. Számolhatunk továbbá a tómedrek gyors feltöltődésének, illetve a gyors és tartós kiszáradásának a lehetőségével is. Ezek alapján az időbeni analógia módszere szerint a közeljövőre nézve egy szélsőséges időszak nagy időfelbontású vizsgálata jó referenciaként alkalmazható. A 2000-ben, mint extrém évben megjelenő folyamatok a klímaváltozást figyelembe véve a közeljövőben jellemzőek lehetnek, ezért is térképeztük a változékonyságot ebben az időszakban.

1999. július és 2003. október közötti rövid időre 22 darab műholdfelvétel áll rendelkezésünkre a 6.10. ábrán látható Duna-Tisza közí mintaterületre. A vizsgálat azért is érdekes, mert a hosszabb távon kedvezőtlen (szárazodó) időszakon belül egy rövidebb, csapadékos évvel is jellemezhető időköz hatása elemezhető.

A víztartalom a multispektrális képek infravörös tartományában jól lehatárolható, így automatikus osztályozást alkalmaztunk, ahol a kapott 30 osztályt vizuális értelmeztük.

A nedvességi kondíciókat elsősorban a wetness indexszel állapítottuk meg:

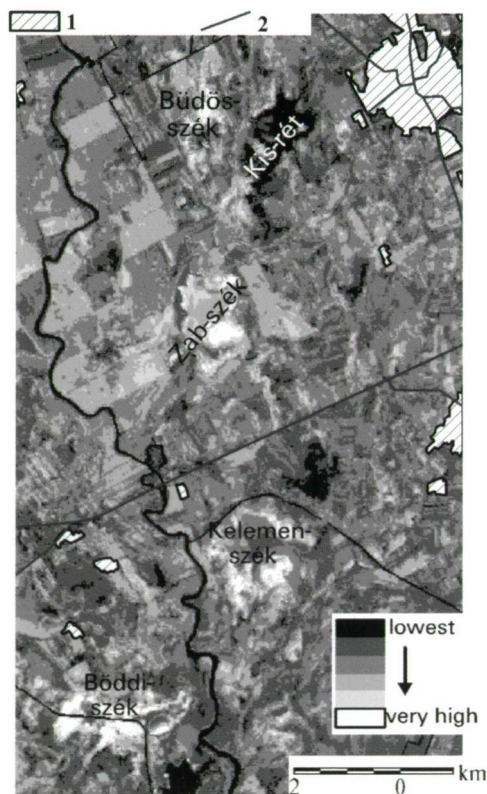
stanja, zbog toga smo i ubacili junske snimke u bazu podataka. Položaj vodenih staništa je kritičan, ako i ovo, najpovoljnije stanje pokazuje lošu sliku.

Pored analize dugoročnih promena, poznati stepen varijabilnosti može uticati na naše mišljenje o tim promenama, jer što je veća mera promene za dati deo površine, to je manja sigurnost za određivanje trenda tih promena. Ocenjivanje promenljivosti omogućavaju izradu analize sa velikom rezolucijom vremena i sa još većom prostornom rezolucijom (Kovács 2009). Za analizu promene močvarnih površina je bitna analiza i ekstremnih stanja. Među uticajima lokalnih klimatskih promena je i učestalost kratkoročnih padavina, i povećanje učestalosti ariditeta. Možemo još računati sa brzim popunjavanjem korita jezera, odnosno sa mogućnošću brzog i trajnog isušivanja. Na osnovu predhodno pomenutih i metode vremenske analogije za skorbu budućnost, studija jedne ekstremne periode sa velikom rezolucijom vremena, može se koristiti kao dobra referenca. Pošto 2000-a, kao ekstremna godina, i klimatske promene koje su se pojavile, mogu da budu karakteristične i u bliskoj budućnosti, zbog toga smo kartirali promene u ovom periodu.

Između jula 1999. i oktobra 2003 imamo 22 satelitskih snimaka sa uzrkanog područja između Dunava i Tise (Slika 6.10). Ovo ispitivanje je interesantno i zbog toga, što možemo analizirati jedan kraći vremenski period sa vlažnijim godinama unutar dugačkog, nepovoljnog (aridnog) perioda.

Sadržaj vode u infracrvenom području multispektralnih fotografija je tačno određivo, i tako smo koristili automatsku klasifikaciju, gde smo tumačili 30 vizualnih klasa.

Uslove vlažnosti smo prvenstveno odredili preko wetness indeksa:



6.10. ábra A víztartalom változékonysága 1999–2003 alapján (1: település; 2: közút)

Slika 6.10 Promena sadržaja vode između 1999–2003 godine (1-naselje, 2: put)

Fig. 6.10 Variability of water content 1999-2003(1: settlement; 2: road)

$$WI_{ETM+} = 0,263_{ETM1} + 0,214_{ETM2} + 0,093_{ETM3} + 0,066_{ETM4} - 0,763_{ETM5} - 0,539_{ETM7}$$

ahol: ETM1...ETM7: különböző hullám-hossz tartományok.

A növényi fedettségét a normalizált vegetációs index segített meghatározni:

$$NDVI = (ETM4 - TM3) / (ETM4 + TM3)$$

A „nyílt víz és nagy víztartalmú terület“, „vizenyős terület“, „száraz felszín“ osztályokkal bíró térképeket összetett lekérdezések alapján hoztuk létre elsősorban az automatikus osztályozás, valamint a WI indexképek figyelembe vételével. Az említett osztályokat a topográfiai térképeken azok digitalizálása során a jelmagyarázatuk alapján azonosítottuk.

$$WI_{ETM+} = 0,263_{ETM1} + 0,214_{ETM2} + 0,093_{ETM3} + 0,066_{ETM4} - 0,763_{ETM5} - 0,539_{ETM7}$$

dge: ETM1...ETM7: različite oblast talasnih dužina.

Biljnu pokrivenost određujemo pomoću normalizovnog vegetacionog indeksa:

$$NDVI = (ETM4 - TM3) / (ETM4 + TM3)$$

Mape sa klasama: „otvorena vodena površina i površina sa velikim sadržajem vode“, „močvara“ i „suva površina“, napravljenih na osnovu kompleksih upita, prvenstveno automatskom klasifikacijom, odnosno koristeći WI indeksne slike.

Pomenute klase na topografskim kartama smo identifikovali po legendi, u toku digitalizacije.

A szárazodás térbeliségét a változékonyság ismeretében értékeltük. Az 1962. évekig jellemző referenciaállapothoz viszonyítva bizonyos foltokat nehéz egyértelműen besorolni egy hosszú folyamatba (pl. a felszín egyszer nyílt vizes, másszor csak vizenyős, vagy száraz). Az „állandóan vizes” területek mindig vizes-vizenyős foltok voltak. „Általában vizes”-nek értékelhetők az átlagos évek szerinti foltok, míg a csak nagyvizek által elöntött terület a „változékonny vizes” kategóriába került, mely a szárazodás értékelése során a ’valószínűleg nem szárazodó’ kategóriába sorolható. A „mérsékelten szárazodó” kategória a mára elmoszódott állóvizeket és a kiszáradt egykori mocsarakat gyűjti egybe, illetve ide sorolhatók a csak nagy elöntéseknél megjelenő egykori vizek. A „szárazodó” osztályba az utóbbi évtizedekben általában szárazon maradó régi vizenyős foltok kerültek. „Veszélyesen szárazodó” az a terület, amely egykoron vizes volt, de a ’80-as évek óta már nem az. A degradációs folyamat megítélésénél egy optimista és egy pesszimistaszemléletet vázolunk, ahol az optimista esetben a kérdéses foltoknál mindig a kedvezőbb (vizesebb), a pesszimista esetben a szárazabb állapotot vettük alapul.

Eredmények

A vizes-vizenyős területek kiterjedését mutató adatsoron (6.11. ábra) jól látható, hogyan nehezíti az aszálygyakoriság fokozódásával jellemezhető változási folyamat felismerését a 13.000 ha-os terület változékonysága. Megállapíthatunk évek közötti különbséget, de elég egy rövidebb kedvező időszak és a „semiből” visszaállhat a régi rend.

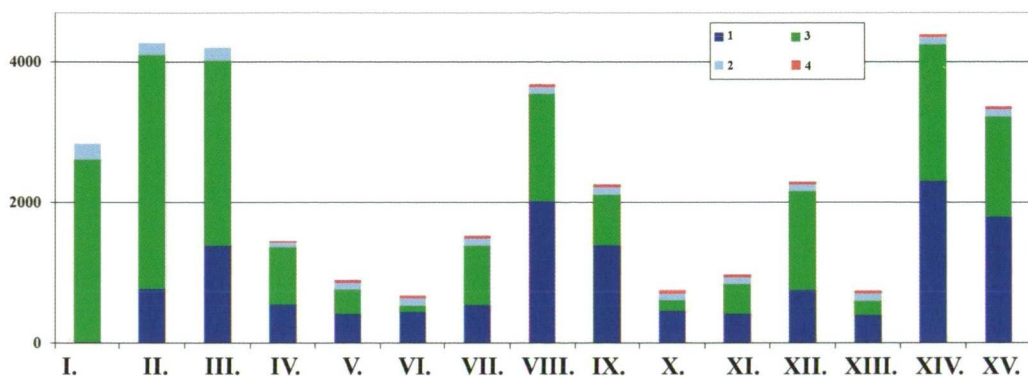
A legfeltűnőbb változás az 1880-as éveket követő 100 évben jellemző, amikor a vízben gazdag területek 84 %-a eltűnt. 2010-ben hidrogeográfiai értelemben gyakorlatilag aktivizálódott a természetközeli állapot. A referenciaállapothoz hasonló vizes állapot csupán

Prostornu raspodelu suše odredjujemo na osnovu raznolikosti površine. U odnosu na karakteristično (do1962-e godine) referentno stanje, neke izdvojene teritorije je teško jednoznačno ulkopiti u jedan dugi proces (npr. površina je jednom suva, drugi put močvarna ili potpuno prekrivena vodom). „Stalno močvarne” teritorije su uvek bile mokra, vlažna mesta. „Uglavnom vlažna” mesta su pod vodom u prosečnim godinama, a „promenljivo vlažna” mesta samo u vlažnim godinama, ova mesta po oceni ariditeta spada u kategoriju „najverovatno nikad nije suv”. Kategorija „umereno suv” obuhvata močvarna jezera i do danas isušene močvare i ovde spadaju i stajaće vode, koje se pojavljuju samo posle poplava. U kategoriju „suv” smo smestili stare močvarne delove, koje su u zadnjim decenijama uglavnom bili suvi.”Opasno suvi” su stare, nekad vlažne površine, koje od ’80-tih više to nisu. Prilikom ocenjivanja degradacionog procesa, zacrtali smo jedan optimističan i jedan pesimističan slučaj, gde u optimističnom pristupu uvek optimalnije (vlažnije), a u pesimističkom pristupu suvlje stanje uzimamo za osnovu.

Rezultati

Na grafikonu, (Slika 6.11) koji pokazuje rasprostranjenost vodenih-močvarnih površina, lepo se vidi, kako sa povećanjem frekvencije sušnih godina, raznolikost površine od 13.000 ha, otežava prepoznavanje procesa promene. Možemo odrediti razlike između nekih godina, ali pomoću samo jednog povoljnijeg perioda,” iz ničega” se vraća staro hidrogeografsko stanje.

Najupečatljivija promena se desila u periodu od 100 godina, posle 1880-e, kad je nestalo 84% od vodom bogatih površina. 2010-e, u hidrogeografskom smislu, praktično se aktiviziralo staro, prirodno stanje. Samo usled



6.11. ábra. Vizes élőhelyek hidrogeográfiai változása a XVIII. századtól napjainkig

(1: tavak; 2: ér; 3: mocsár; 4: csatorna; I: I. katonai térképezés; II: II. katonai térképezés; III: III. katonai térképezés; IV: 1960-as évek topográfiai térképe; V: 1982-es topográfiai térkép; VI: 1986 műholdkép; VII: 1994 műholdkép; VIII: 1999 műholdkép; IX: 2000 műholdkép; X: 2001 műholdkép; XI: 2002 műholdkép; XII: 2006 műholdkép; XIII: 2007 műholdkép; XIV: 2010 műholdkép; XV: 2011 műholdkép)

Slika 6.11. Hidrogeografske promene vodenih životnih sredina od XVIII. veka do danas

(1: jezero; 2: potok; 3: močvara; 4: kanal)

I: I. vojno kartiranje; II: II. vojno kartiranje; III: III. vojno kartiranje; IV: topografska karta iz 1960; V: topografska karta iz 1982; VI: satelitski snimak iz 1986; VII: satelitski snimak iz 1994; VIII: satelitski snimak iz 1999; IX: satelitski snimak iz 2000; X: satelitski snimak iz 2001; XI: satelitski snimak iz 2002; XII: satelitski snimak iz 2006; XIII: satelitski snimak iz 2007; XIV: satelitski snimak iz 2010; XV: satelitski snimak iz 2011)

Fig. 6.11. Hydro-geographical changes of wet habitats from 18th century up to now

(1: lakes; 2: small water flows; 3: swamp; 4: canal; I: I. military mapping; II: II. military mapping; III: III. military mapping; IV: Topographical maps from the 1960s; V: Topographical map of 1982; VI: satellite image from 1986; VII: satellite image from 1994; VIII: satellite image from 1999; IX: satellite image from 2000; X: satellite image from 2001; XI: satellite image from 2002; XII: satellite image from 2006; XIII: satellite image from 2007; XIV: satellite image from 2010; XV: satellite image from 2011)

az éghajlat alakulására jelent meg, igaz ehhez különösen extrém csapadékmennyiségre volt szükség.

Az 1999-2000-es évek, illetve a 2006. év nagy belvizeit követő években rövid idő alatt újra az 1980-as évek alacsony elöntés értékeit tapasztalhatjuk. Kellő vízutánpótlás hiányában két év alatt, 2001-re a sok víz $\frac{3}{4}$ -e eltűnt és tartósan így is maradt. Feltűnő a 2006–2007 közötti különbség, amikor egy év alatt a nyílt vizek körülbelül 50 %-a, a mocsaras részek 85 %-a szűnt meg. Látható, hogy egy-egy kedvezőbb év hatása nem elég a '70-es évek óta tartó kedvezőtlen folyamatok megszüntetésére.

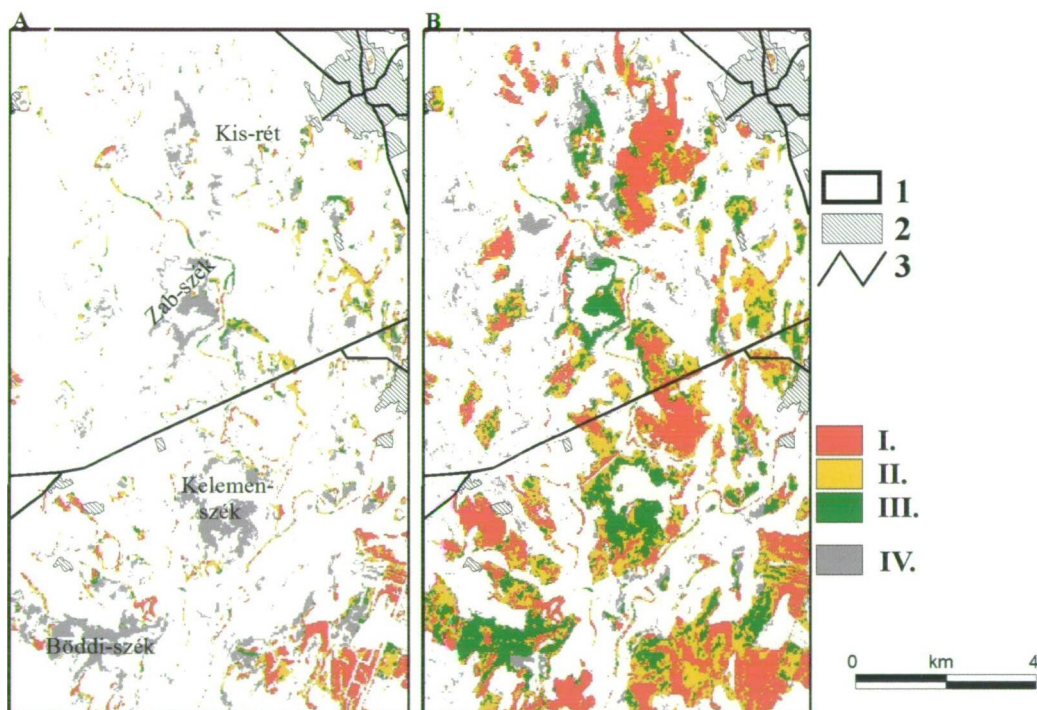
Meghatározásunk alapján a közel 130 éves adatsorban a pesszimista szemlélet

promene klime smo dobili stanje vodnih sistema sličnim referentnom stanju, ali za ovo je bilo potrebno da vrednost padavina bude izuzetno ekstremna.

Posle pojave velikih površinskih voda 1999-2000, odnosno 2006-e godine, veoma brzo, kao i 1980-tih, opet registrujemo male vrednosti plavljenja. Zbog nedovoljnog vodosnabdevanja za dve godine, do 2001-e, nestalo je $\frac{3}{4}$ te velike količine vode, i to stanje trajno je ostalo. Upadljiva je razlika između 2006–2007, kada je za godinu dana približno nestalo 50% otvorenih vodenih površina i 85% močvara. Vidljivo je, da uticaj pojedinih povoljnih godina nije dovoljan da nestaju nepovoljni uticaji suše, koje traju od '70-tih godina.

szerint a terület 33,5 %-a szárazodik, míg az optimista szemléletnél ez 6,5 %. A rosszabb forgatókönyv esetében területünk 6,3 %-a veszélyesen szárazodik. Változáselemzés esetén fontosak azok a területek, amelyek a változékonyságvértékelés szempontjából stabilak. A változékonny területeken nehezebb változást regisztrálni, illetve veszélyesebb lehet egy folyamat, ha az állandóbb jelenségeket is veszélyeztet. A hosszú időtartamú elemzésben lehatárolt optimista, illetve pesszimista szemléletű eredményeket pontosítottuk a változékonyság térbeli

Na osnovu niza podataka od 130 godina, odredili smo, da po pesimističkoj 33,5 %, a po optimističkoj prognozi 6,3 % površina postaje suvlja. Po gornjem scenariju na posmatranoj teritoriji 6,3% površine postaje opasno suva. U toku analize promene su važne one obasti, koje su stabilne u pogledu varijabilnosti. Na nestabilnim, promenljivim oblastima, promene je teže registrovati, odnosno već samo jedan proces može da bude opasan, ako ugrožava i stabilnije pojave. Na osnovu odrađene dugoročne analize, dopunili smo i pesimistički i optimistički pristup sa rezultatima



6.12. ábra. A szárazodás térbelisége a változékonyság ismeretében

(A: optimista szemlélet; B: pesszimista szemlélet; 1: mintaterület határa; 2:település; 3: közút; I: szárazodik; II. valószínűleg szárazodik; III. valószínűleg nem szárazodik; IV: nehezen meghatározható terület)

Slika 6.12. Prostorna raspodela aridnosti – optimistika i pesimistička prognoza

(A: optimistička scenarija; B: pesimistička scenarija; 1: granica ispitivanog područja; 2: naselja; 3: putevi; I: aridifikacija; II. verovatna aridifikacija; III. verovatno nema aridifikacije; IV: nedefinisana verovatnoća aridifikacije)

Fig. 6.12. Spatial appearance of aridification in terms of variability (A: optimistic approach; B: pessimistic approach; 1: study area; 2: settlement; 3: road; I: becoming arid; II. possibly becoming arid; III. possibly not becoming arid; IV: difficult to classify)

eredményeivel és csak a kis változékonysággal bíró foltokon előforduló eredményeket hagytuk meg (6.12 ábra). A pontosabb térkép szerint a pesszimista szemlélet szárazodási értéke 24,7%-ra csökkent, az optimista szemlélet 5,6%-ra redukálódott. A terület délnyugati, délkeleti és keleti részén, illetve a Zab-szék környezetében még a legkedvezőbb kép is problémákat jelez. A csapadék és hidrogeográfia kapcsolatát látva, a környezetben tapasztalt földrajzi folyamatokat ismerve elsősorban a pesszimista vélemény alkalmazhatósága a valószínűbb.

6.2.2. Az időszakos felszíni vízborítások (belvíz) térbeli és időbeli megjelenésének monitoringja

Tobak Zsolt, Szatmári József, Boudewijn van Leeuwen, Mesáros Minuđer, Mucsi László

Bevezetés

Korábban láthattuk, hogy a kutatási területen a szélsőséges vízellátottság miatt a vízhiányos időszakok mellett belvizes időszakok is rendszeresen előfordulnak, ezért kiemelt jelentőségű a vízgazdálkodás és vízviszatarítás tervezése a régióban. A vízgazdálkodás és vízviszatarítás tervezéséhez fontos az időszakos felszíni vízborítások (belvíz) monitorozása is. A belvízelöntések monitorozásakor az érintett területek térbeli és időbeli kiterjedésének ismerete és folyamatos nyomon követése fontos információkat szolgáltat a képződési és eltűnési folyamatok megértéséhez és ezen keresztül az előrejelzés megbízhatóságának növeléséhez is. A mezőgazdasági művelés alatt álló területeken a nyílt vízfelület és/vagy telített talajréteg rövidtávon károsan hat a növényzetre, a természet-közel (pl. rét, legelő) hasznosítás alatt álló területeken azonban a

prostorne promenljivosti i na slikama ostavili smo samo one rezultate, koje su se javile na delovima sa malim varijacijama (Slika 6.12). Ako koristimo tačnije mape, pesimistička slika daje manju vrednost aridnosti, odnosno smanjuje se na 24,7%, a optimistički pristup redukuje tu površinu na 5,6%. Na jugozapadnom, jugoistočnom i istočnom delu terena, odnosno u oblasti teritorije „Zab-szék”, i najbolja prognoza je problematična. Na osnovu veze padavina i hidrogeografije, poznavajući geografske procese u okruženju, najverovatnije prvenstveno moramo koristiti pesimistički scenario.

6.2.2. Prostorni i vremenski monitoring pojave periodično plavljenih površina (suvišnih unutrašnjih voda)

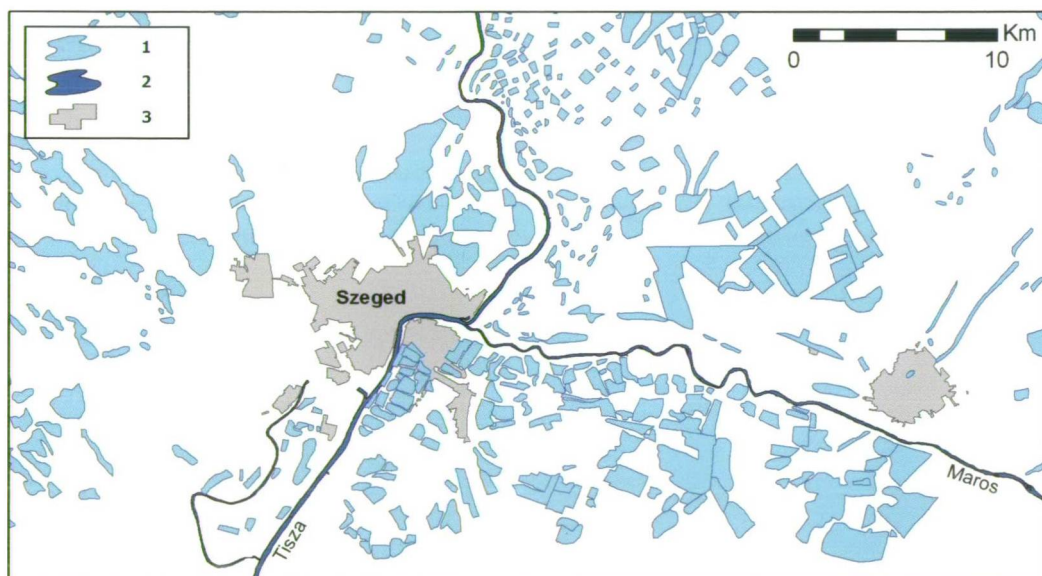
Tobak Zsolt, Szatmári József, Boudewijn van Leeuwen, Mesáros Minuđer, Mucsi László

Uvod

Ranije smo mogli videti, da se na istraživanom području zbog ekstremnog priliva vode, pored perioda sa nestašicom vode redovno javljaju i periodi sa pojavom suvišnih unutrašnjih voda, zbog čega je od vrlo velikog značaja vodoprivreda i planiranje zadržavanja vode u regionu. Za vodoprivredu i planiranje zadržavanja vode je važan monitoring povremeno plavljenih zona (suvišnih unutrašnjih voda). Monitoringom područja plavljenih suvišnim unutrašnjim vodama, upoznavanjem i stalnim praćenjem njihovog prostornog i vremenskog rasprostiranja dobijaju se važne informacije potrebne za razumevanje procesa njihovog pojavljivanja i nestajanja, a time i za povećanje pouzdanosti prognoza. Na obrađivanim poljoprivrednim prostorima otvorena vodena površina i / ili zasićeni sloj zemljišta kratkoročno štetno

tartós vízborításnak pozitív ökológiai hatása is lehet. A klímaváltozás következményeként hazánkban is megfigyelhető szélsőségek akár egymást követő években vagy egy adott éven belül is okozhatnak extrém csapadékos (belvizes) és száraz (aszályos) időszakokat. Megfelelő vízgazdálkodással (elvezetéssel, tárolással) azonban a csapadékos évek vízfeleslegét a száraz időszakokban a vízhiány enyhítésére lehetne fordítani, enyhítve ezzel akár a belv

deluju na biljke, ali na površinama koje se iskorišćavaju u uslovima bliskim prirodnim (npr. livada ili pašnjak) trajno zadržavanje vode može da ima i pozitivan ekološki uticaj. Kao posledica klimatskih promena i u našoj državi se mogu zapaziti ekstremi, nekada u uzastopnim godinama ili čak i unutar određene godine mogu uzrokovati ekstremno vlažne (plavne) i suve (sušne) periode. Međutim odgovarajućim upravljanjem



6.13. ábra. Terepi felmérésen alapú belvívelöntési térkép Szeged környékén (Adatforrás: ATIKÖVIZIG, 2000, szerkesztette: van Leeuwen, 2012) (1: belvíz foltok; 2: folyó; 3: város)

Slika 6.13. Karta plavljenja suvišnim unutrašnjim vodama u okolini Segedina na osnovu terenskog istraživanja (Izvor podataka: ATIKÖVIZIG, 2000, Obradeno: van Leeuwen, 2012)

(1: teritorija pokrivena suvišnim unutrašnjim vodama; 2: reka; 3: grad)

Fig. 6.13. Inland excess water inundation map based on terrain survey in Szeged area (Source of data: ATI-VIZIG, 2000) (Edited by: van Leeuwen, 2012) (1: inland excess water; 2: river; 3: city)

okozta károkat is. Mindez felhívja a figyelmet a belvívelöntések térképezésének szükségességére, ami kiterjed a kialakulás, a méret, a tartósság, a gyakoriság és eltűnés megfigyelésére is.

A belvíz térbeli és időbeli eloszlásának vizsgálatára használt módszereket két nagy csoportba oszthatjuk: (1) a terepi (6.13. ábra) vagy távérzékelte méréseken alapuló megfi-

vodama (odvođenje, skladištenje), višak voda iz vlažnih perioda bi se mogao iskoristiti za ublažavanje nedostatka vode u sušnim periodima, smanjivši time i štete nastale suvišnim unutrašnjim vodama.

Sve ovo ukazuje na potrebu kartiranja zona plavljenih suvišnim unutrašnjim vodama, što obuhvata i posmatranje njihovog formiranja, veličine, trajanja, učestalosti i nestajanja.

gyelések és értékelések, illetve (2) a kialakulást befolyásoló tényezők tapasztalati súlyozásán alapuló számítások (van Leeuwen, 2012). Utóbbi esetben a több bemeneti paraméterrel rendelkező modellek eredményül veszélyeztetettségi térképeket adnak.

Az általában 1:10000 vagy 1:25000 méretarányú topográfiai térképeken – és a felmérést végzők helyismeretén – alapuló in situ terepi felmérések sokszor szubjektívek (pl. a belvízfolt „határának” kijelölésében), a belőlük létrehozott gyakorisági térképek nem korrelálnak az egyik legfontosabb belvízképző tényező, a felszín relief értékeivel (van Leeuwen 2012). Mindemellett a felmérés időigényes is. Eredményeképpen azonban évtizedekre visszamenőleg rendelkezésünkre áll előtérítési adatbázis, ami korlátozásokkal (pl. megfelelően kicsi méretarány mellett) használható a tapasztalati modellek kalibrálásához.

Lehetőség van nagy pontosságú, GPS eszközzel végzett terepi adatrögzítésre is. Azonban itt is problémaként jelentkezik a nyílt vízfelület és a telített talaj határának kijelölése és megközelítése is. Mindemellett ez még időigényesebb, mint az fent említett, topográfiai térképen, a parcellákat övező utakról történő adatgyűjtés.

A belvíz térképezés térinformatikai lehetőségei

A távérzékelési technológiák – mind az adaternyezés, mind az adatfeldolgozás – fejlődésével a terepi felmérések mellett egyre inkább előtérbe kerültek a légifelvételek vagy műholdképek kiértékelésén alapuló térképezések (Rakonczai et al. 2001). Mivel a víz – illetve a vízzel telített talajfelszínnek – spektrális tulajdonságai jellegzetesek (infravörös tartománytól szinte teljes abszorpció), azok a felvételeken akár automatikus eljárásokkal is lehatárolhatók. Közeleli-infravörös (900-1200

Metode koriščene za ispitvanje prostorne i vremenske distribucije suvišnih unutrašnjih voda možemo podeliti na dve velike grupe:

(1) terenske (Slika 6.13) ili merenja zasnovana na daljinskoj detekciji, odnosno (2) proračun faktora formiranja na osnovu iskustvenih procena jačine uticaja (van Leeuwen 2012). U slučaju poslednjeg, modeli sa više ulaznih parametara kao rezultat daju karte ugroženosti. Terenske in situ procene zasnovane na topografskim kartama čije su razmere obično 1:10,000 ili 1:25,000, kao i na poznavanju datog prostora onih koji vrše ispitivanje, često su subjektivne (npr. označavanje „granica” plavljenih zona), a karte učestalosti izrađene na osnovu njih ne koreliraju sa jednim od najznačajnijih faktora pojave suvišnih unutrašnjih voda - vrednostima površinskog reljefa (van Leeuwen 2012). Pored svega, ispitivanje je i vremenski zahtevno. Međutim, kao rezultat dobijamo bazu podataka plavljenih zona koja se odnosi na više dekada, koja uz ograničenja (korišćenjem male razmere) može da se koristi za kalibriranje iskustvenih modela.

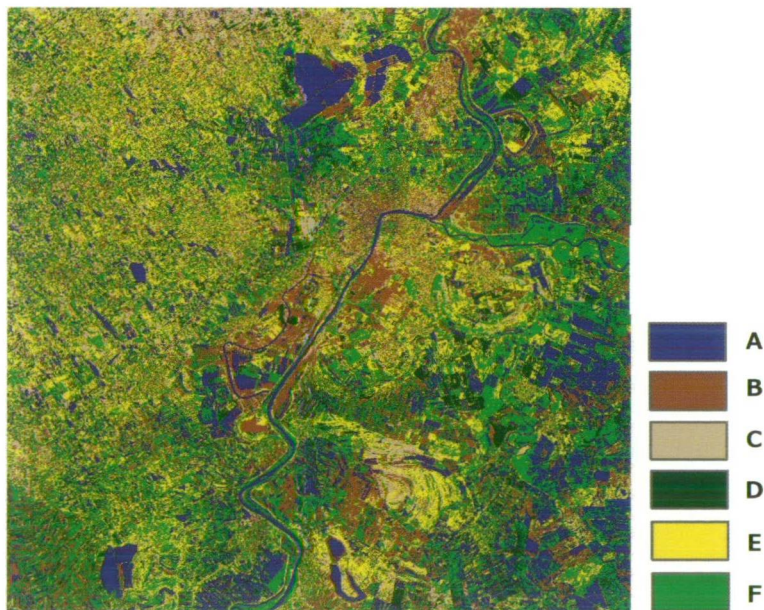
Postoji mogućnost i za terensko beleženje veoma preciznih podataka. Međutim i tu se javlja problem pristupačnosti i određivanja granice između vodene površine i zasićenog zemljišta. Pored svega, ovo je vremenski još zahtevnije od gore navedenog prikupljanja podataka sa puteva oko parcela na osnovu topografskih karata.

Mogućnosti kartiranja suvišnih unutrašnjih voda primenom prostorne informatike

Razvojem tehnologija daljinske detekcije – kako dobijanja podataka, tako i njihove obrade – pored terenskih istraživanja sve više dolaze do izražaja kartiranja vršena na osnovu analize satelitskih ili avionskih snimaka (Rakonczai et al. 2001). Pošto voda, odnosno vodom zasićene površine zemljišta imaju karakteristična spektralna svojstva (od infracrvenog dela spektra skoro potpuna apsorpcija), one se na

nm) tartományban a legtöbb földmegfigyelő műhold felvételez, így ezek adatainak felhasználása kézenfekvőnek tűnik. Korlátozó tényezőt jelent azonban a megfelelő térbeli és időbeli felbontás. Mivel a térképezendő belvízfoltok valós mérettartománya néhány 10-100 m közé esik, a Landsat (E)TM(+) szenzor 30 méteres felbontása még éppen megfelel a célnak. A belvíz kialakulása és eltűnése is viszonylag gyorsan lejátshódhat, így a felhasznált műholdfelvételek időbeli felbontása (az adott területről készült felvételek között eltelt idő) minél jobb kell, hogy legyen. A Landsat 16 napos visszatérési ciklusa - ami rosszabb esetben még felhőborítottsággal is egybeeshet - ebből a szempontból fontos korlátozó tényező. Optimális megoldást a RapidEye műhold felvételek jelenthetnek, melyek viszonylag

snimcima mogu razgraničiti skoro i pomoću automatskih postupaka. Najveći broj satelita koji osmatraju Zemlju snima u delu spektra bliskom infracrvenom (900-1200 nm), tako da se korišćenje ovih podataka čini jednostavnim. Međutim faktor ograničavanja predstavlja odgovarajuća prostorna i vremenska rezolucija. Pošto se realne dimenzije vodoleža koje se kartiraju spadaju u opseg od 10 - 100 m, rezolucija senzora Landsat (E)TM(+) od 30 metara još donekle odgovara ovom cilju. Formiranje i nestajanje vodoleža se može odigrati relativno brzo, tako da vremenska rezolucija korišćenih satelitskih snimaka (vreme proteklo između izrade snimaka određene teritorije) treba da bude što bolja. Ciklus povratka Landsat-a od 16 dana, koji se u lošijim slučajevima može podudariti sa



6.14. ábra. Maximum likelihood osztályozás eredménye műholdfelvételen egy Szeged környéki mintaterületen (A: vízborítás; B: talajfelszín; C: magas albedó; D: vegetáció 1; E: vegetáció 2; F: vegetáció 3)

Slika 6.14. Rezultat klasifikacije sa Maximum likelihood metodom na satelitskom snimku sa istraživanog područja u okolini Segedina

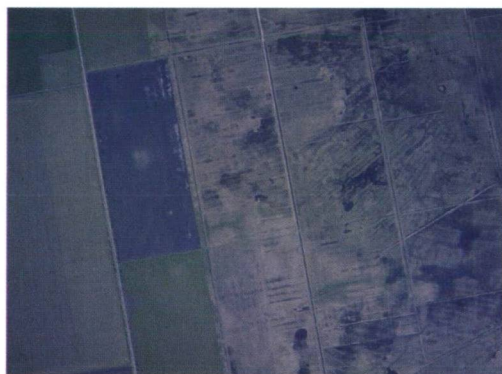
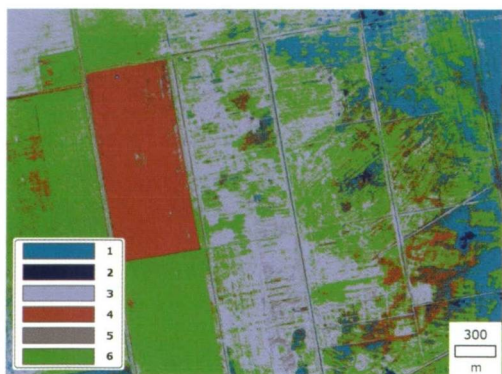
(A: vodom pokrivena teritorija; B: površina tla; C: visoki albedo; D: vegetacija 1; E: vegetacija 2; F: vegetacija 3)

Fig. 6.14. The result of maximum likelihood classification on satellite images in a study area around Szeged (A: water; B: soil; C: high albedo; D: vegetation 1; E: vegetation 2; F: vegetation 3)

elfogadható áron akár napi rendszerességgel adatot képesek szolgáltatni.

A többsávós (multispektrális) felvételek kiértékelése, esetünkben a belvizes területek lehatárolása, manuális és (fél)automatikus eljárásokkal történhet (6.14. ábra). Előbbi esetben a kiértékelést végző szakember (részben szubjektív) döntésén alapuló, a térbeli felbontásnak megfelelő pontosságú előntési térképek hozhatók létre. Az eljárás időigényes, de gyorsabb, mint a terepi felmérés, és egyszerre sokkal nagyobb területek elemzése lehetséges. Az automatikus módszerek (klaszterezés) a felvételi sávok által kijelölt spektrális teret (adatteret) megadott számú részre osztják, és az egyes képelemeket helyzetük alapján felcímkézik. Az egyes klaszterek jelentését (pl. belvíz, növényzet, száraz talaj) a kiértékelő szakembernek kell elvégeznie. Az eljárás ugyan gyors, de a különböző felvételek eredményei nehezen összevethetők. Az ún. irányított osztályozások során az osztályba sorolást megelőzi egy betanítási fázis, melyben egy-egy térképezendő felszínborítás spektrális tulajdonságai rögzítésre kerülnek. Ezt követően az algorit-

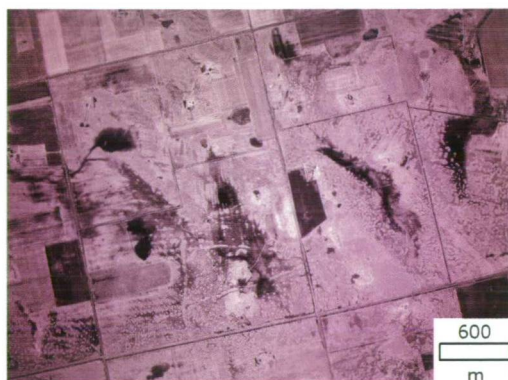
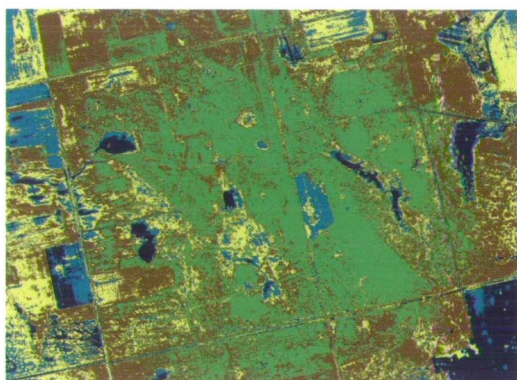
oblačnim uslovima - zbog ovog aspekta je važan ograničavajući faktor. Optimalno rešenje mogu predstavljati snimci sa satelita RapidEye, koji mogu pružiti podatke sa skoro svakodnevnom učestalošću za relativno prihvatljivu cenu. Analiza višepojasnih (multispektralnih) snimaka, u našem slučaju razgraničavanje prostora sa suvišnim unutrašnjim vodama, može da se odvija manualno i (polu)automatskim postupcima (Slika 6.14). U prvom slučaju mogu se izraditi karte plavljenja na osnovu (delimično subjektivnih) odluka stručnjaka koji vrši analizu, sa preciznošću koja odgovara prostornoj rezoluciji. Postupak je vremenski zahtevan, ali je brži nego terenski premer i moguća je istovremena analiza mnogo većih prostora. Automatski metodi (grupisanje ili klasterovanje) dele označeni spektralni prostor (prostor podataka) na zadati broj delova i označavaju pojedine elemente slike na osnovu njihovog položaja. Određivanje značenja pojedinačnih klastera ili grupa (npr. vodoleže, vegetacija, suva zemlja) mora da izvrši stručnjak koji vrši analizu. Postupak je brz, ali su rezultati pojedinačnih snimaka teško uporedivi. Kod tzv. navođenih klasifikacija, svrstavanju u klase prethodi faza podučavanja, u kojoj se beleže spektralne



6.15. ábra. Maximum likelihood osztályozás eredménye légifotóról (1: víz (gyepen); 2: víz (mély); 3: víz (szántón); 4: szántó; 5: aszfalt; 6: gyepek)

Slika 6.15. Rezultat klasifikacije Maximum likelihood sa avionskog snimka ((1: voda (na livadi); 2: voda (duboka); 3: voda (na oranici); 4: oranica; 5: asfalt; 6: livada))

Fig. 6.15. The result of maximum likelihood classification from aerial photo (1: water (on meadow); 2: water (deep); 3: water (on arable land); 4: arable land; 5: asphalt; 6: meadow)



6.16. ábra. ISODATA osztályozás eredménye légifotóról
Slika 6.16. Rezultat ISODATA klasifikacije sa avionskog snimka
Fig. 6.16. Result of ISODATA classification from aerial photo

mus a spektrális hasonlóság alapján automatikusan felcímkézi a pixeleket.

Mivel a belvízfoltok nem rendelkeznek egyértelmű határvonallal (fuzzy határok), szükséges lehet a képelemen belüli területi arányok vizsgálata is. Ezt az eljárást követi az ún. spektrális keveredés vizsgálat (Spectral mixture analysis), amivel szintén hatékonyan elkülöníthetők a vízfelületek környezetüktől. A további, fejlettebb osztályozási módszerek közül említést érdemel a mesterséges neurális hálózatok alkalmazása (van Leeuwen 2012).

A műholdképek viszonylag alacsony költséggel, nagy területre szolgáltatnak egységes minőségű adatot. A belvíztérképezés szempontjából kulcsfontosságú térbeli és időbeli felbontást tekintve azonban jelenleg még ne vehetik fel a versenyt a légifelvételekkel. A repülési magassággal a térbeli felbontás tetszőlegesen állítható (0,1-1 m), a felvételezés időpontját pedig csak az időjárási viszonyok befolyásolhatják. Hátrányt jelent azonban, hogy sokszor csak a látható fénytartományban (RGB) történik felvételezés. A légifelvételek kiértékeléséhez ugyanazokat a módszereket alkalmazhatjuk, mint a műholdas adatoknál, de a nagyobb geometriai információmennyiség miatt geometriailag részletesebben és pontosabban határolhatjuk le a belvízfoltokat (6.15. és 6.16-os ábra).

osobine pojedinačnih tipova površina koje se kartiraju. Nakon ovog algoritam označava piksele na osnovu spektralne sličnosti.

Pošto vodoleže nemaju jasne granice (fazi granice), može biti neophodna analiza prostornih odnosa unutar elemenata slike. Nakon ovog postupka sledi tzv. analiza spektralne mešavine (Spectral mixture analysis), kojom se od okoline takođe efikasno mogu izdvojiti vodene površine. Od ostalih, razvijenijih metoda klasifikacije vredi pomenuti primenu veštačkih neuronskih mreža (van Leeuwen 2012).

Satelitski snimci pružaju uz relativno male troškove, podatke podjednakog kvaliteta za veliku površinu. Međutim sa aspekta prostorne i vremenske rezolucije koje su od ključne važnosti za kartiranje suvišnih unutrašnjih voda, one trenutno ne mogu da se takmiče sa avionskim snimcima. Visinom leta prostorna rezolucija se može slobodno prilagoditi (0,1-1 m), a na vreme snimanja mogu uticati samo vremenski uslovi. Međutim nedostatak predstavlja da se snimanje često vrši samo u vidljivom delu spektra (RGB). Za analizu avionskih snimaka primenjujemo iste metode, kao i kod satelitskih podataka, ali zbog veće količine geometrijskih informacija vodoleže se mogu razgraničiti geometrijski detaljnije i preciznije (Slike 6.15 i 6.16).

A komplex belvíz térképezés lehetőségei

A hagyományos osztályozó eljárásokban csak olyan adatrétegeket tudunk felhasználni, melyek hisztogramja természetes (Gaussian) eloszlást mutat. A távérzékelte felvételek vagy a digitális felszínmodellek megfelelnek ennek a feltételnek. Az emberi tevékenység, mesterséges struktúrák hatásainak bevonásához azonban fejlettebb módszerekre van szükség. A mesterséges neurális hálózatokkal végzett osztályozásokban ilyen korlátozásokba nem ütközünk, így az aktuális belvízérintések lehatárolása több tényező (adatréteg) figyelembe vételével, nagyobb megbízhatósággal történhet (van Leeuwen 2012).

A modell-alapú megközelítések eredményül veszélyeztetettség térképeket adnak. A Pálfa-féle modell a belvízképződést befolyásoló természetes és antropogén tényezők közül elsősorban előbbiekkal számol. Ilyenek az index használhatóságát befolyásoló hidrometeorológiai paraméterek, a talaj vízáteresztő képessége (hydraulic conductivity), a geológiai viszonyok (vízzáró réteg mélysége és vastagsága), a talajvízszint mélységének elmúlt évtizedekben történő alakulása, a felszín magassági viszonyai (relief) és a területhasználát. Az emberi tevékenység a talaj, a relief és a területhasználát sajátosságain keresztül jelenhet meg a rendszerben.

6.2.3. Hidrológiai modellező szoftverek összehasonlítása egy síkvidéki kisvízgyűjtő esetében

Benyhe Balázs, Právecz Tamás, Sipos György

Bevezetés

A hidrológiai modellek a vízkörforgás bonyolult rendszerének valamely elemét, vagy elemeit kívánják matematikai, fizikai vagy tapasztalati összefüggések segítségével értelmezni és számszerűsíteni általában egy jól lehatárolható víz-

Mogućnosti kompleksnog kartiranja suvišnih unutrašnjih voda

U tradicionalnim metodama klasifikacije možemo koristiti samotakve slojeve podataka, čiji histogrami pokazuju normalnu (Gausovu) raspodelu. Snimci daljinske detekcije i digitalni elevacioni modeli odgovaraju ovom uslovu. Ali za uključivanje uticaja ljudske aktivnosti i veštačkih struktura potrebne su naprednije metode. Kod klasifikacije pomoću veštačkih neuronskih mreža ne nailazimo na ovakve prepreke, tako da se razgraničavanje stvarnih površina plavljenih suvišnim unutrašnjim vodama može vršiti sa većom pouzdanošću, uzimanjem u obzir većeg broja faktora (slojeva podataka) (van Leeuwen 2012).

Pristupi bazirani na modelima kao rezultat daju kartu ugroženosti. Od prirodnih i antropogenih faktora koji utiču na formiranje suvišnih unutrašnjih voda, Palfai model računa pre svega na osnovu prvo pomenutih. Ovakvi parametri koji utiču na upotrebljivost indeksa su hidrometeorološki, vodoporopusnost zemljišta (hydraulic conductivity), geološki odnosi (dubina i moćnost vodonepropusnog sloja), kretanje nivoa podzemnih voda u proteklom decenijama, visinski odnosi na površini (reljef) i korišćenje zemljišta. Ljudske aktivnosti se mogu pojaviti u sistemu kroz karakteristike zemljišta, reljefa i korišćenja zemljišta.

6.2.3. Poređenje softvera za hidrološko modeliranje na primeru jednog manjeg sliva u ravnici

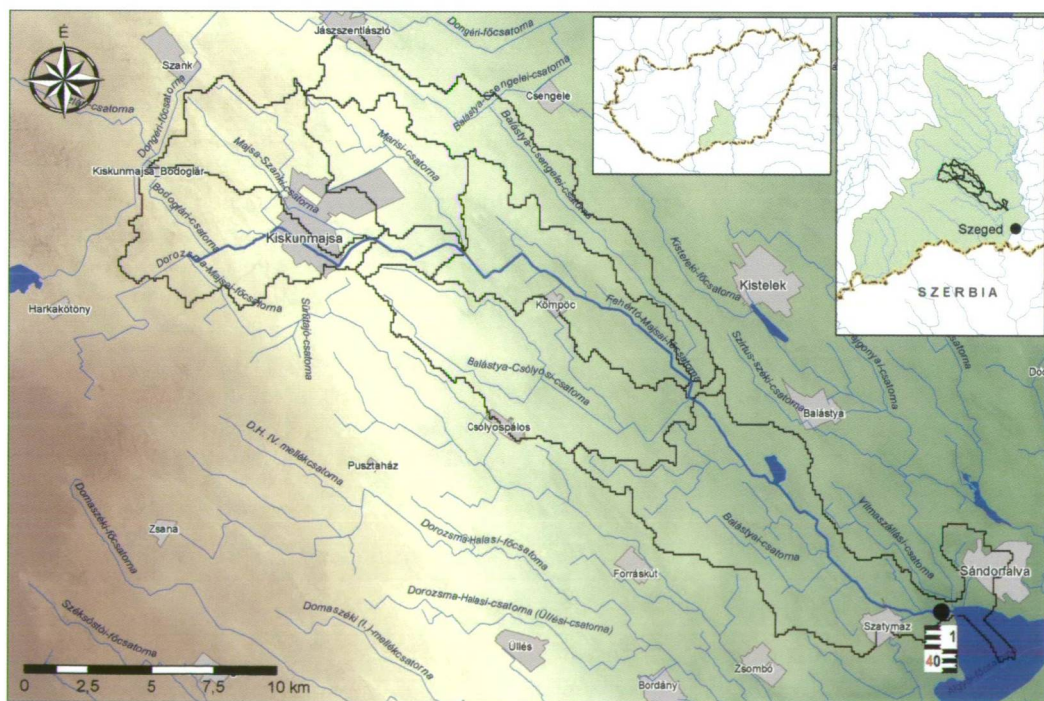
Benyhe Balázs, Právecz Tamás, Sipos György

Uvod

Hidrološki modeli služe za definisanje nekih od određenih elemenata složenog hidrološkog sistema pomoću fizičkih, matematičkih i

rendszer, vagy vízggyűjtő vonatkozásában (Singh és Frevert 2001). A hidrológiailag szélsőséges területeken, mint amilyenek a Kárpát-medence síksági részének kisvízgyűjtői is, igen fontos a vízháztartási helyzet előrejelzése és pontosítása, mivel a mai napig kevés kézzel fogható adat áll rendelkezésre ezen területek párolgási-, lefolyási-, beszivárgási- és víztározási jellemzőiről. Jelen tanulmány kapcsán a Fehértó-majsai főcsatorna vízggyűjtőjén többféle hidrológiai modell segítségével határoztuk meg a vízháztartási mutatókat, pl. a vízggyűjtőről lefolyó víz mennyiségét, a lefolyás időbeni változásait, vagy a beszivárgásból adódó tározott víz mennyiségét. A modellezés eredményei segítségül lehetnek az aszályra hajlamos homokhátú területek vízgazdálkodási-tervezési feladatainak megvalósítása során, melyekhez korábban kevés objektív módon meghatározott adat állt rendelkezésre.

empiriják u nekom precizno ograničenom hidrološkom sistemu. ili vodozahvatu (Singh i Frevert 2001). U ekstremnim hidrološkim sistemima kakva su mala slivna područja u Pannonskoj niziji, potrebna je prognoza i preciziranje vodenog balansa, jer do danas mali je broj dostupnih podataka o evaporaciji, o oticanju, o infiltraciji i o zadržavanju vode. U ovoj studiji pomoću raznih hidroloških modela odredili smo parametre vodenog balansa, kao što su količina vode koja otiče sa sliva, vremenska promena oticanja ili količina zadržane vode, e izinfiltrirane vode sa sliv glavnog kanala Fehértó-majsa. Rezultati modela mogu biti od pomoći tokom ostvarivanja planova vodoprivrede peskovitih područja podložni suši, za koje pre nije bilo na raspolaganju dovoljno objektivno određenih podataka.



6.17. ábra: A vizsgált vízggyűjtő elhelyezkedése, domborzati viszonyai és vízhálózat.
Slika 6.17. Položaj ispitivanog slivnog područja, topografske karakteristike, i vodna mreža.

Fig.6.17. The topography and stream network of the studied catchment

Vizsgálati terület

A modellezést a Fehértó-majsai-főcsatorna vízgyűjtőterületére végeztük el. A vízgyűjtő nagyrészt a Dorozsmai-majsai homokháton, kisebb részben pedig a Dél-Tisza-völgy területén helyezkedik el (Dövényi 2010). A területen a főcsatornához csatlakozó 6 nagyobb mellékcsatorna és 1 jelentős állóvíz található (6.17. ábra). A terület csatornasűrűsége a vízügyi kezelésben lévő csatornák összesített hossza alapján $0,68 \text{ km/km}^2$. A vízgyűjtő területe összesen 305 km^2 , azonban a vizsgálat során csak a szatymazi vízhozam mérő szelvény feletti, mintegy 290 km^2 kiterjedésű területet vizsgáltuk. A szatymazi szelvény alatt a csatorna további, 4 km hosszú szakasza a Fehértói-főcsatornába vezeti a vizet. Az esésviszonyok a terület hátsági jellege ellenére alacsonyok. A főcsatorna esése a felső szakaszon $0,78\text{--}1,16 \text{ m/km}$, az alsó szakaszon $0,27\text{--}0,78 \text{ m/km}$ közötti.

Éghajlatát tekintve a vízgyűjtő meleg-száraz, a csapadék éves mennyisége alig haladja meg az 500 mm -t. A területen a legnagyobb arányban gyenge termőképességű humuszos homok és futóhomok talajok találhatóak, ennek ellenére jelentős a mezőgazdasági művelésbe vont területek aránya, melyek többsége kistáblás szántó. Emellett viszonylag nagy az ún. tanyás területek részaránya is. Természetes vagy közel természetes területek döntően a Homokhátságon húzódnak, ezek többségében homoki gyepek és semlyékek.

A modellezéshez felhasznált bemeneti és kontroll adatok

A vízgyűjtő domborzatának, illetve a domborzat által meghatározott természetes lefolyási irányok vizsgálatára 5 m -es felbontású digitális domborzatmodell (DDM) alkalmaztunk. A területi csapadékadatokat 4 db mérőállomás napi adatainak átlaga alapján állapítottuk meg, a teljes vízgyűjtőterületet egy

Ispitno područje

Izvršeno je modelovanje za područje sliva glavnog kanala Fehértó-majsa. Veći deo teritorije sliva se nalazi u peščari Dorozsmai-majsai, a u manjem delu u dolini južne Tise (Dövényi 2010). Na teritoriji u glavni kanal se priključuju 6 većih sporednih kanala, i nalazi se još jedno značajno jezero (Slika 6.17). Gustina kanala na slivu, sumiranjem kanala koji su pod vodoupravom je $0,68 \text{ km/km}^2$. Teritorija sliva je ukupno 305 km^2 , ali za modelovanje smo koristili samo gornji deo uzvodno od profila Szatymaz, ukupno 290 km^2 . Nizvodno od Szatymaz profila kanal je 4 km dugačak i uključuje se u glavni kanal Fehértó. Odnosi pada terena s obzirom na parametre područja su mali. Pad glavnog kanala u gornjem delu je $0,78\text{--}1,16 \text{ m/km}$, a na donjem delu je između $0,27\text{--}0,78 \text{ m/km}$.

Posmatrajući klimatske uslove vodozahvata, klima je topla i suva, godišnja količina padavine jedva premašuje 500 mm . Na teritoriji se većinom nalazi peskoviti humus, slabe rodnosti nasuprot tome veličina teritorije koja je uključena u poljoprivredu je značajna, većina tih su male parcele. Pored toga značajan deo predstavljaju zemljišta koje pripadaju salašima. Prirodne ili blizu prirodne teritorije se nalaze u regiji Homokhátság, većina tih su peskovite livade i močvarska predela.

Korišćeni input i kontrol podatci za modelovanje

Za ispitivanje reljefa i pravaca oticanja na području sliva se koristila DEM sa 5 m rezolucije. Vrednosti padavine smo ustanovili uzimajući podatke dnevne vrednosti sa 4 merne stanice i njihov prosek smo koristili za celo područje vodozahvata. Na osnovu

egységként kezeltük. A talajtani adottságok modellbe építését az AGROTOPO digitális térképes talajtani adatbázis alapján végeztük el. A talajtani viszonyokat figyelembe véve a víz-háztartási paraméterek térbeli eloszlásával is pontosítottuk a modelleket. A területhasználati adatokat a CORINE (CLC50) digitális adatbázisából, illetve a MADOP ortofotó állományából nyertük ki. A kontroll adatokat szolgáltató szatymazi szelvényben egy mérőbukó és egy automata vízállás regisztráló műszer található. A napi vízhozam adatokat az időről időre frissített vízállás-vízhozam összefüggések alapján számítottuk a teljes vizsgálati időszakra.

Az egyes modellek és a modellezési eredmények

Módosított Budyko modell

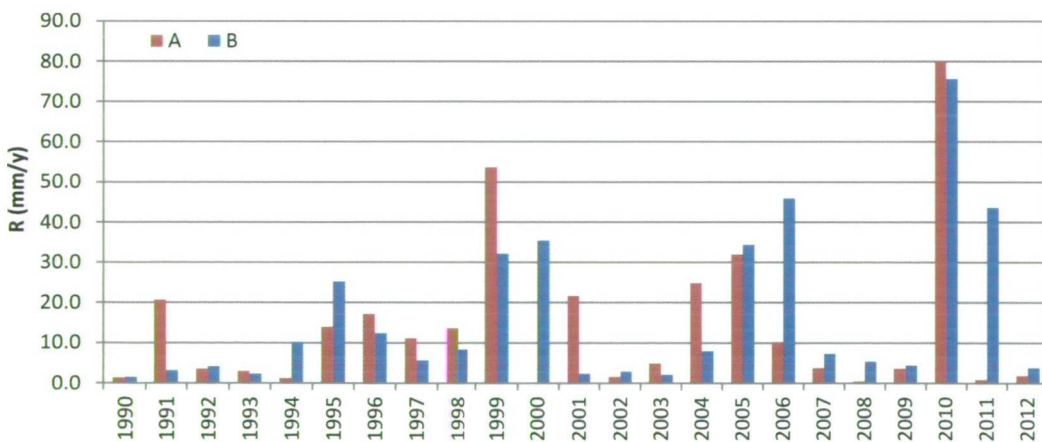
Eredeti alakjában a Budyko modell az átlagos éves lefolyást a csapadék, a párolgási hő és az éves sugárzási egyenleg alapján számította ki (Nováky 1985). A sugárzási egyenleg „nehéz

AGROTOPO podataka digitalne karte ugradili smo karakteristike tla u model. Na osnovu karakteristike tla, uzeti u obzir pri određivanju prostorne distribucije parametara vodenog bilansa, model je preciziran. Podatci korišćenja prostora su dobijeni iz CORINE (CLC50) digitalne baze podataka kao i iz MADOP ortofot baze. U kontrolnom segmentu Szatymaz se nalazi jedan žljeb i automatski instrument za registrovanje nivoa vode. Podatke o dnevnom prilivu vode smo računali na osnovu povremeno ažriranih podataka o prilivu i protoku.

Nekoliko modela i njihovi rezultati

Modifikovani Budyko model

U originalnoj formi Budyko model je računao godišnja oticanja padavine na osnovu temperature, isparavanja i godišnjeg balansa zračenja (Nováky 1985). Zbog teškog „rukovanja” vrednostima balansa zračenja, modifikovana verzija računanja su zasnovana



6.18. ábra A Budyko model módosított változatával meghatározott éves lefolyás értékek összevetése a ténylegesen mért adatokkal (R: átlagos éves lefolyás; A: modellezett lefolyás; B: mért (kontroll) lefolyás)

Slika 6.18 Upoređenje vrednosti godišnjeg oticanja stvarnih merenih reziltata i vrednosti dobijenih iz Budyko modifikovanog modela (R: prosečni godišnji oticaj; A: modelovani oticaj; B: mereni (kontrolni) oticaj)

Fig.6.18 Comparison of mean annual runoff calculated by modified Budyko model and measured values (R: mean annual runoff; A: simulated runoff; B: measured (control) runoff)

kezelhetősége miatt” (Keve és Nováky 2009) a modell módosított változatában a számítások már csak az éves csapadék és hőmérséklet értékeken alapulnak.

A Budyko modell így nem alkalmas rövidebb lépésközű (pl. havi vagy napi felbontású) időszakon alapuló vizsgálatokra, ezért éves és évtizedes időléptékben végeztünk számításokat. Az átlagos évi lefolyás értékét mm/év-ben kifejezve kaptuk meg. A vizsgálat során egyaránt alkalmaztuk a modell osztott- és osztatlan paraméterű változatait. Az osztott paraméterű modellt ArcMap szoftverben, az osztatlan paraméterű modellt Excell táblázatkezelőben építettük fel.

A évtizedes idősorok esetében az átlagos éves lefolyás értéke a modelleredmények alapján 14 mm/év, míg a kontroll vízhozam adatok alapján 16 mm/év volt a vízgyűjtő egészére kifejezve. Ez az eltérés a maga kb. 10%-os hibájával elfogadható, azonban éves időléptékben már jóval pontatlanabb modelleredményeket kaptunk.

Az éves léptékű modellezést az évtizedes vizsgálat eredményei alapján már csak osztatlan változatban végeztük el. Az éves átlagok alapján kiszámított eredmények azonban jelentős eltéréseket mutatnak a mért adatokhoz viszonyítva (6.18. ábra).

A HEC-HMS modellező szoftver

A HEC-HMS szoftverrel történő modellezéshez szükséges térbeli adatokat az ArcMap programban futtatható, HEC-GEOHMS elnevezésű bővítmény segítségével hoztuk létre. A modellt két változatban futtattuk le. Mindkét változatban a vízgyűjtő kifolyási pontjához (szatymazi szelvényhez) tartozó vízhozam idősorokat szimuláltunk.

Az első változatban törekedtünk a modell konceptuális jellegét megtartani, vagyis arra törekedtünk, hogy valamennyi bemeneti paraméter bekerüljön a modellbe, azonban így a hidrológiai folyamatokat csak nagyvona-

samo na vrednostima godišnje padavine i na vrednostima temperature (Keve i Nováky 2009).

Ovako Budyko model nije prikladan za ispitivanja bazirana na kraćim vremenskim periodama (npr. mesečne, dnevne), zato smo vršili računanja u godišnjem i u dekadnim vremenskim periodama. Vrednost proseka godišnjeg oticanja smo dobili u mm/god. Tokom ispitivanja jednako smo koristili modele sa deljenim i nedeljenim parametrima. Model sa deljenim parametrima smo gradili u ArcMap, dok model sa nedeljenim parametrima smo gradili u Excelu.

U slučajevima dekadnih vremenskih podataka, srednja godišnja vrednost oticanja iz rezultata modela je 14 mm/god, dok na osnovu kontrolnih podataka protoka je 16 mm/god, izražena za celo sliv. Ova razlika sa greškom od 10% je prihvatljiva, ali u godišnjim vrednostima dobijamo značajnu nepreciznost iz modela.

Na bazi rezultata desetogodišnjih ispitivanja, modeliranje u godišnjoj skali vršeno je samo u modelima baziranih na nedeljenim parametrima. Rezultati računati na osnovu godišnjih proseka već pokazuju znatna ostupanja u odnosu na merene vrednosti (Slika 6.18).

Softver za modelovanje HEC-HMS

Prostorne podatke potrebne za modelovanje sa softverom HEC-HMS dobili smo iz ArcMap programa, sa extenzijom HEC-GEOHMS. Modelovanje smo obradili u dve verzije. U oba slučaja smo uradili simulaciju na osnovu podatka protoka za tačku istoka vode (profil Szatymaz).

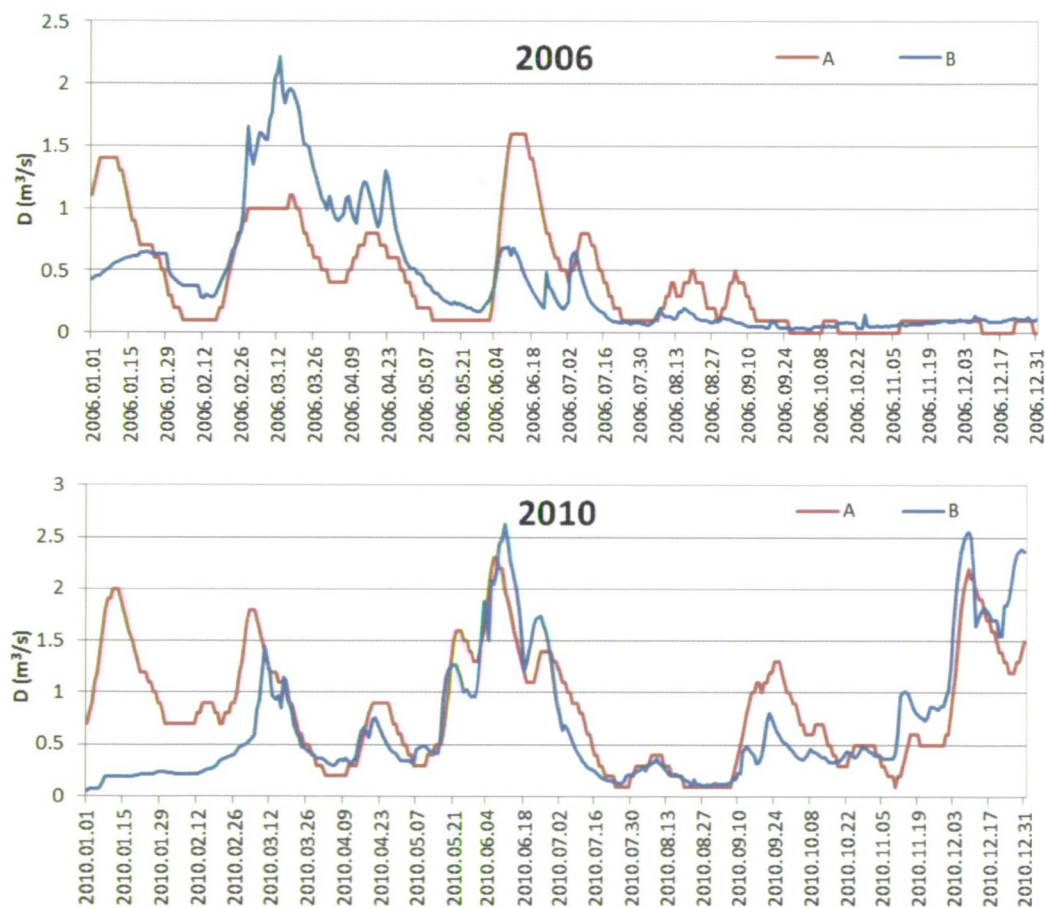
U prvoj verziji trudili smo se da zadržimo konceptualan karakter, odnosno trudili smo se da svi ulazni parametri budu uključeni u model, ali ovako smo samo u velikim

lakban tudtuk számszerűsíteni. Hidrológiai scenáriók modellezésére, előrejelzések és vízháztartási paraméterek számszerűsítésére a fizikai számításokon alapuló modellváltozat csak a megfelelő bemeneti paraméterek mérése és meghatározása után lehetséges.

A második modellváltozatban a modellből kivettünk minden olyan paramétert, melyek megváltoztatására az első változatban a modell alig vagy egyáltalán nem reagált. A leglé-

crtama kvatifikovali hidrološke procese. Za modelovanje hidroloških cenarija, za kvantifikovanje prognoze i parametara vodnog bilansa, verzija modela na bazi fizičkih proračuna moguće je samo posle određivanja i merenja odgovarajućih ulaznih parametara.

U drugoj verziji modela, iz njega smo eliminisali sve one parametre na čiju izmenu u provoj verziji model uopšte model uopšte ili minimalno reaguje. Najbitnija promena



6.19. ábra A HEC-HMS modell félig empirikus változatával előállított és a ténylegesen mért vízhozam görbék összevetés (A: modellezett vízhozam; B: mért (kontroll) vízhozam)

Slika 6.19 Upoređenje protoka vode merenih vrednosti i dobijenih iz HEC-HMS poluempirijskog modela. (A: modelovani protok vode; B: mereni (kontrolni) protok vode)

Fig.6.19 Comparison of discharge curves modelled by the semi-empirical HEC-HMS model and the measured values (A: simulated discharge; B: measured (control) discharge)

nyegesebb változtatás a csapadék, a beszívár-gás és a párolgás értékeinek összevonása volt. Ennek kapcsán csapadékadatok értékeit a szakirodalom ajánlásainak megfelelően korrigáltuk (McCuen 2005), majd ezzel az adatsorral, illetve 100%-os lefolyás mellett futattuk le a modellt. A második modellváltozat így egy empirikus és konceptuális modell átmenetén is felfogható.

A modelleredmények az összefolyási és tározási idő megváltoztatásával szabadon kalibrálhatóak, így a kapott vízhozam értékek nagyságrendjét illetően viszonylag jó pontosság érhető el, azonban a vízhozamgörbék lefutása jelentős modellhibával terhelt. A szimulációs idősor hosszára való tekintettel csak két jellegzetes év idősorát közöljük (6.19. ábra).

A HEC-HMS modellel történő számítások alapján arra jutottunk, hogy a szakirodalomban meghatározott referencia értékeken alapuló egyszerűsített modellel nagyobb pontosságot sikerült elérnünk, mint a fizikai alapokon nyugvó változattal. Ennek legfőbb oka, hogy a fizikai modell olyan bemeneti paramétereket igényel, melyeket a rendelkezésre álló adat-sorok alapján nem volt lehetőségünk megadni, a becslésekre alapozott modellfuttatások pedig nem jártak eredménnyel.

A modellezett vízhozam idősorok alapján a HEC-HMS szoftver erősen túlbecsüli síkvidéki területeken a lefolyó víz mennyiségét. A program nagyon érzékenyen reagál (a csapadék mennyiségére, mely azonban nagyon alacsony esésű (1-2 m/km) sík területeken kevésbé mértékadó a vízhozam alakulására nézve, mint pl. a felszín vízháztartási viszonyai vagy a hőmérséklet).

MIKE modellező szoftver

A MIKE termékcsalád szoftverei közül a MIKE 11- és a MIKE SHE modell csomagokat használtuk. A MIKE 11 lényegében egy

je bila sjedinjenje vrednosti padavine, infiltracije i evaporacije. Shodno tome smo korigovali vrednosti padavina, odgovarajući preporukama stručne literature (McCuen 2005), i sa ovom serijom podataka uz 100% oticanja odradili model. Na ovaj način druga verzija modela se može smatrati prelazom empirijskog i konceptualnog modela.

Modeli se slobodno mogu kalibrirati na osnovu vremena pritoka i skladištenja vode, i tako se sa dosta velikom preciznošću može dobiti red veličina protoka, ali je kriva protoka modela pokazuje veliku netačnost. Zbog dužine simuliranog perioda, prikazuje se samo dva karakteristična godišnja intervala (Slika 6.19).

Upoređenje protoka vode merenih vrednosti i dobijenih iz HEC-HMS poluempirijskog modela.

Na osnovu računanja sa modelom HEC-HMS, došli smo na zaključak da sa modelom osnovan na određenim referentnim vrednostima iz stručne literature dobijamo veću tačnost nego sa modelom baziran na fizičkim osnovama. Jedan od glavnih razloga toga je da fizički model zahteva takve ulazne parametre, koje nismo bili u mogućnosti dobiti iz dostupnih baza podataka, a modelovanja baziranja na njihovim procenama nisu imali adekvatne rezultate.

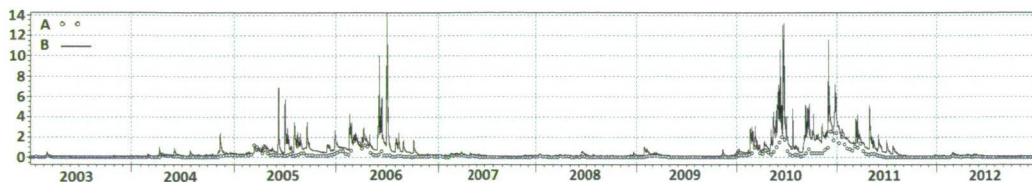
Na osnovu vremenske serije protoka, dobijene vrednosti oticanja na ravničarskom terenu iz modela urađen sa softverom HEC-HMS, su znatno veće. Program vrlo osetljivo reaguje na količinu padavina, za ravne terene sa manjim padom (1-2 m/km), koje su manje merodavne nego na primer: vodni bilans površine ili temperatura.

Softver za modelovanje MIKE

Od produkata MIKE koristili smo pakete za modelovanje MIKE 11 MIKE SHE. MIKE 11 je u suštini program za jednodimenziono

egydimenziós vízfolyás-modellező program, míg a SHE egy kétdimenziós integrált vízgyűjtő-modellező program. A MIKE SHE lényegében valamennyi hidrológiai részfolyamatot fizikai alapokon nyugvó modellezé-

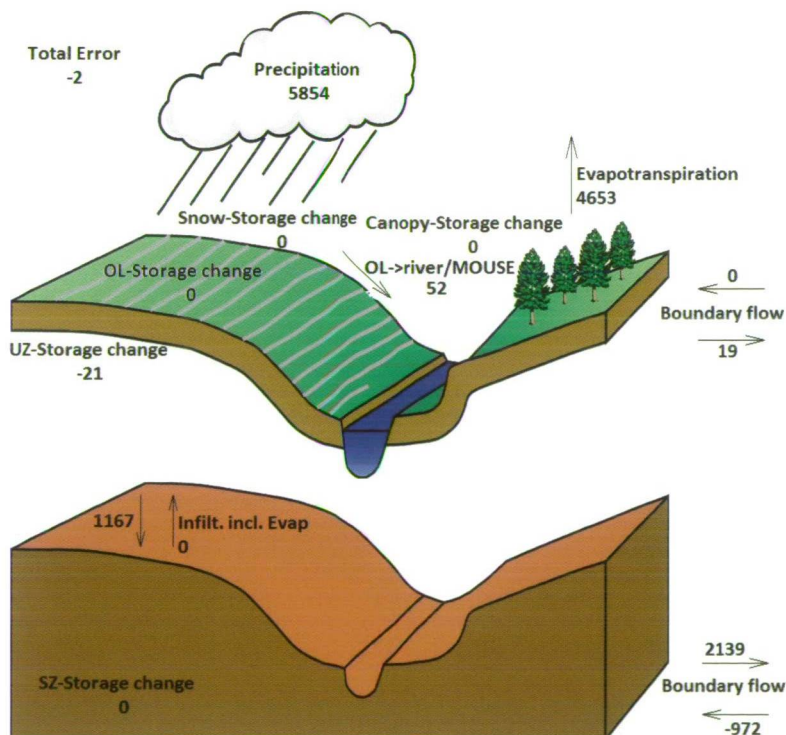
modelovanje oticanja, dok je SHE za integrisano dvodimenziono modelovanja sliva. MIKE SHE je pogodan za modelovanje svih hidroloških delova procesa baziranih na fizičkim procesima i uzima uzajamno uticanje



6.20. ábra A MIKE modell-család segítségével előállított és a ténylegesen mért vízhozam görbék összevetése (2003-2012). A: mért vízhozam (m^3/s) B: számított vízhozam (m^3/s)

Slika 6.20 Upoređenje krivih vrednosti protoka dobijenih stvarim merenjem i iz modela MIKE. (2003-2012). A: mereni protok vode (m^3/s) B: računati protok vode (m^3/s)

Fig.6.20 Comparison of discharge curves modelled by the MIKE software and the measured values (2003-2012) (A: simulated discharge (m^3/s); B: measured discharge (m^3/s))



6.21. ábra Az egyes részfolyamatokban modellezett vízmozgások mennyisége (m^3) (2003-2012)

Slika 6.21 Količina voda dobijena u parcijalnim procesima modelovanja (m^3) (2003-2012)

Fig.6.21 The sum of simulated water movement in the different sub-processes (m^3) (2003-2012)

sére alkalmas és számításba veszi a különböző hidrológijski elemek egymásra hatását is. Az elemzések során a két modellező környezetet összekapcsoltuk, így vízgyűjtő és a vízfolyás közötti kapcsolat is értelmezhetővé vált.

Az eredmények alapján kevésbé csapadékos időszakok esetén jól követi a szoftver a mért vízhozam idősort, azonban csapadékosabb időszakok esetén csakúgy, mint a HEC-HMS túlbecsülheti a lefolyó víz mennyiségét (6.20. ábra). A magasabb vízhozamok feltételezhetően a modellben vízzel telítődő talaj miatt megemelkedő talajvízszintnek köszönhetőek, ami a valóságosnál nagyobb felszín alatti hozzáfolyást eredményez (6.21. ábra). Ezért fontos lenne a jövőben a területen található talajok hidraulikai és a talajvíz hidrodinamikai paramétereinek pontosabb megadása mért adatok alapján.

Összegzés

A módosított Budyko és a HEC-HMS modellek futtatása alapján megállapítható, hogy azok csak korlátozott mértékben alkalmasak kisléptékű síkvidéki vízgyűjtő területek lefolyásviszonyainak szimulálására. Ennek legfőbb oka, hogy nem vagy csak kis súllyal vesznek figyelembe olyan meghatározó hidrológijski részfolyamatokat, mint például a felszín alatti vízmozgás, mely egyébként nyilvánvalóan jelentős szereppel bír az egyébként rossz lefolyással rendelkező, vagy teljesen lefolyástalan területeken.

A Budyko modell módszertana a könnyebb alkalmazhatóság érdekében a csapadék és hőmérséklet adatokat kivéve kizár minden más bemeneti paramétert. Ebből következően a vízgyűjtő valamennyi tulajdonsága egy kvázi-konstans értékkel jellemezhető, mely természetsszerűleg pontatlan eredményeket szolgáltat. Mindezek alapján a Budyko modell kizárólag nagy kiterjedésű vízgyűjtő területek hosszú távú változásainak vizsgálatára lehet megfelelő.

raznih hidrolójskih elemenata. U toku analize spojili smo dva načina modeliranja, tako smo dobili smislenu vezu između sliva i tokova.

Na osnovu dobijenih podataka softver dobro prati vremensku skalu merenih protoka u periodima sa manjim padavinama, ali u periodima sa više padavina isto kao HEC-HMS precenjuje količinu otoka vode (Slika 6.20). Veći protoci po pretpostavci u modelu zbog natopljenosti tla mogu se zahvaliti povišenom nivou podzemne vode, što doprinosi od realnog većem (Slika 6.21). Zato bi trebalo u buduće zadati tačnije vrednosti hidrauličkih i hidrodinamičkih parametara tla na bazi merenja.

Sažetak

Na osnovu korišćenja modifikovanog Budyko i HEC-HMS modela može se utvrditi da se mogu koristiti za modelovanje manjih razmera ravničarskih slivnih prostora samo u ograničenoj meri. Najbitniji razlog tome je da ne ili samo u maloj meri uzimaju u obzir delove hidrolójskih procesa, kao što je podpovršinsko kretanje voda, koji očigledno ima značajnu ulogu u oblatima sa slabim ili bez oticanjem vode.

Metod Budyko modela zbog lakšeg primenjivanja, isključuje sve ulazne parametre izuzev količine padavine i temperature. Iz toga sledi da cela teritorija sliva se okarakterise sa kvazi-konstantnom vrednošću, koji izlazeći iz svoje prirode daje netačne rezultate. Osnovano na prethodnima Budyko model je pogodan za dugotrajno modelovanje velikih slivova dugotrajnih.

HEC-HMS model omogućuje detaljnija ispitivanja, ali je veoma teško proizvesti sa njim jedan hidrolójski korektan model. U modelima ulazna infiltraciona voda ili je ispunila poroznu sredinu ili je isparila sa površine terena, ili je sa konstantnim deficitom otekao, ali njeno kretanje nismo

A HEC-HMS részletesebb vizsgálatokat tesz lehetővé, azonban igen nehéz vele egy hidrológiailag korrekt fizikai modellt előállítani. A modellváltozatokban a beszivárgó víz vagy feltöltötte a rendelkezésre álló pórusteret, vagy elpárologott a talajból, esetleg konstans értékkel vesztésként elszivárogozott, de mozgását nem sikerült szimulálnunk, ami nyilvánvalóan pontatlan lefolyásértékeket eredményezett. Mindenképpen figyelemre méltó, hogy a HEC-HMS modell félig empirikus változata értékelhetőbb eredményeket szolgáltatott, mint a fizikai modellváltozat, melynek egyik oka, hogy a bemeneti adatok mennyisége és formátuma sem mindig megfelelő. A félig empirikus modellváltozat a csapadékos időszakok lefolyásának modellezésére alkalmas lehet, azonban a felszín alatti víztározás és vízmozgások figyelmen kívül hagyásával a modell összességében nem tűnik megfelelőnek síkvidéki vízgyűjtők modellezésére.

Eddigi tapasztalataink alapján a MIKE integrált hidrológiai modell sokkal részletesebben és objektívebben meghatározható bemeneti paraméterekkel dolgozik. A szoftver működésébe beépített dinamikus visszacsatolási folyamatok lehetővé teszik, hogy olyan fizikai modellt állítsunk elő, melyben gyakorlatilag minden szubjektív elem kiküszöbölhető. Emellett a program alkalmas arra, hogy valamennyi részfolyamat változását térben és időben nyomon kövessük. Ez nagy előrelépést jelenthet a korábban bemutatott modellekhez képest. Ez esetben is hozzá kell azonban tenni, hogy a pontosabb szimuláció érdekében egyes adatok és bemeneti paraméterek tekintetében (pl.: talajok hidraulikai vezetőképessége) szükség lenne ténylegesen mért adatokra. Következésképpen a modellezésbe bevont vízgyűjtőn a további vizsgálatokat célszerű lenne ilyen irányban bővíteni.

bili u mogućnosti simulirati, što prestavnja netačnoću modelovanja oticanja vode sa terena. U svakom slučaju izvanredno je da polu-empirijski NEC-HMS model daje primetno bolje rezultate u upoređenju sa fizičkim modelom, zbog čega je jedan od razloga da količina i forma ulaznih podataka nije uvek pogodan. Polu-empirijski model je pogodan za modelovanje perioda sa većim padavinama, ali za modelovanje podpovršinskih vodenih površina i podpovršinskih kretanja vode nije pogodan na ravničarska slivna područja.

Na osnovu naših dosadašnjih iskustva MIKE integrisani hrdološki model radi sa detaljnijim i objektivnijim ulaznim parametrima. Dinamične povratne informacije ugrađeni u softver omogućavaju da proizvedemo takav fizički model, u kojem su skoro svi subjektivni elementi isključeni. Pored toga program je prikladan za praćenje prostornih i vremenskih promena procesa. Ovo može predstavljati veliki korak u odnosu na dosad predstavljene modele. I u ovom slučaju treba napomenuti da u cilju tačnije simulacije bili bi potrebni stvarno mereni vrednosti u pogledu nekih podataka i ulaznih parametara (npr. hidrološka provodljivost tla). Prema tome, u daljim ispitivanjima u modelovanju sliva, proširenje u ovom pogledu bi bilo prikladno.

6.3 Mogućnosti monitoring podzemnih voda

Szatmári József, Barta Károly, Csépe Zoltán, Fehér Zsolt, Brkic Miodrag, Djordje Obradović, Zorica Dudarin, Vasa Radonić

Uvod

Posmatranje podzemnih voda u Mađarskoj je dospelo u prvi plan zbog poljoprivrede u 19. veku, zbog stvaranja uslova za uzgoj pirinča. Prve navodnjavane ogledne parcele su

6.3. A talajvíz megfigyelésének lehetőségei

Szatmári József, Barta Károly, Csépe Zoltán, Fehér Zsolt, Brkic Miodrag, Djordje Obradović, Zorica Dudarin, Vasa Radonić

Bevezetés

A talajvíz megfigyelése Magyarországon a mezőgazdasági okok miatt került előtérbe a rizstermesztés feltételeinek megteremtésére, a XIX. században. Az első öntöző mintatelepeket 1863-ban a Fejér vármegyei Sárréten, később, 1878-ban az Alföldön Pékla-pusztán létesítették. Az ezeket a telepeket ellátó vízfolyások vízjárásának ismerete alapvető fontosságú volt, de ugyanekkor fordult a figyelem a talajvíz megfigyelése felé is. Az első észlelések 1866-ban kezdődtek el, Szeged és Debrecen térségében 1876-80 között rendszeres mérésekkel öt éves adatsort állítottak elő (Szalai 2003). Ezután az észlelőhálózat folyamatosan bővült, 1929-ben Magyarország területén már 149 kutat számlált az észlelőhálózat, 80 km-es sűrűséggel, ez a hálózat már kimondottan a talajvíz megfigyelését szolgálta. 1933-ban megkezdődött az országos talajvízszint-észlelő hálózat kiépítése. Ezen a hálózaton rendszeres méréseket végeztek, valamint jellemző vízállásokat határoztak meg mind havi, mind éves szinten. A hálózat legnagyobb kiterjedését 1500-1700 kúttal a 1970-es években érte el.

A talajvíz észlelésének a technológiája a kezdetekhez képest sokat változott, és érdemi előrelépést jelentett a digitális mérőeszközök és távjelző állomások elterjedése. Megjelentek az automatizált műszerek, melyek már képesek voltak elvégezni a mérést, esetleg továbbítani is azokat. A vezeték nélküli technológiák lehetővé tették, hogy az adatok kinyeréséhez ne kelljen fizikai kapcsolatot létesíteni a mérő eszközzel. Ez napjainkban már GSM hálózaton keresztül is megtörténhet. A bemutatott rendszerek (a Szegedi Tudományegyetem és az Új-

uveđene od 1863 u županiji Fejer u Šarretu, a kasnije na Alfeldu 1878 u oblasti Pekla.

Poznavanje režima vodotoka koji su snabdevali vodom ova postrojenja je bilo od fundamentalnog značaja, ali u isto vreme pažnja je usmerena i na posmatranje podzemnih voda. Prva osmatranja su počela 1866, u području Segedina i Debrecena redovnim merenjima od 1876-80 dobijena je petogodišnja serija podataka (Szalai 2003). Posle toga je mreža za merenje stalno proširivana, 1929 je u Mađarskoj osmatračka mreža brojala 149 bunara, sa gustinom od 80 km, koja je već prvenstveno služila za merenje podzemnih voda. 1933 je počela izgradnja državne mreže za osmatranje nivoa podzemne vode. Na ovoj mreži su vršena redovna merenja, određivani su prosečni vodostaji, kako na mesečnom, tako i na godišnjem nivou. Najveće proširenje mreža je dostigla 1970 godine sa 1500-1700 bunara.

Tehnologija posmatranja nivoa podzemne vode se u odnosu na početke u velikoj meri promenila, širenje digitalnih mernih instrumenata i stanica sa daljinskim prenosom je značio suštinski napredak. Pojavili su se automatizovani uređaji, koji su već bili u stanju da izvrše merenja i da ih eventualno proslede. Bežične tehnologije su omogućile da dobijanje podataka može da se ostvari bez uspostavljanja fizičke veze sa mernim uređajem. Danas se ovo može ostvariti i preko GSM mreže. Od ovih razvijenih uređaja prikazani sistemi (mreža izgrađena od strane Univerziteta u Segedinu i Univerziteta u Novom Sadu u okviru projekta MERIEXWA) mere nivo podzemne vode pomoću ultrazvučne tehnologije (Slika 6.22). Shodno tome, ovim se pored metoda prikupljanja podataka istovremeno stalno razvijalo i skladištenje podataka. Pojavom raznih geoinformatičkih softvera postalo je jednostavnije ne samo



6.22. ábra Észlelőkút. Forrás: <http://www.geo.u-szeged.hu/meriexwa/>
 Slika 6.22. Merni bunar. Izvor: <http://www.geo.u-szeged.hu/meriexwa/>
 Fig. 6.22. Monitoring well. Source: <http://www.geo.u-szeged.hu/meriexwa/>

vidéki Egyetem által, a MERIEXWA projekt keretében kiépített hálózat) ultrahangos technológiával mérik a talajvízszintet (6.22. ábra). A különböző térinformatikai szoftverek megjelenésével nem csak az adatok tárolása, de a feldolgozása is egyszerűsödött. A programok lehetővé teszik, hogy a korábbi rányomtatásos technológia helyett már az alaptérképre digitálisan helyezzék el a feldolgozott adatsorokat (Barton et al. 2013).

Mintaterület

A mintaterület kiválasztásának legfőbb szempontja a belvíz-veszélyeztetettség volt. E határon átívelő probléma érinti mind a Tisza bal parti területeit, mind a jobb parti területeket Magyarországon és Vajdaságban egyaránt. Így esett választásunk a Duna-Tisza-közi hátság DK-i részére, illetve határon túli folytatására, a Marostól északra elterülő Marosszög, a Maros déli oldalán található

skladištenje podataka, već i njihova obrada. Ovi programi omogućavaju da se podaci umesto ranije korišćenih štampanih karata digitalno postavljaju u vidu obrađenih nizova podataka na osnovne karte (Barton et al. 2013).

Istraživano područje

Glavni kriterijum za izbor istraživanog područja je bila ugroženost suvišnim unutrašnjim vodama. Ovaj prekogranični problem zahvata kako leve tako i desne priobalne prostore Tise, podjednako u Mađarskoj i u Vojvodini. Stoga je izbor pao na jugoistočni prostor međurečja Dunava i Tise i njegovog produžetka preko granice, na Pomorišje na severu od Moriša, na Torontal koji se nalazi južno od Moriša kao i na Banat na Vojvođanskoj strani. Na prostorima sa raznim reljefnim, geološkim i pedološkim osobinama uzročnici pojave suvišnih unutrašnjih voda su vrlo promenljivi.

Torontálra, illetve a vajdasági oldalon Bánát területére. A különböző domborzati, földtani és talajtani adottságokkal rendelkező területeken a belvíz kialakulásának okai is rendkívül változatosak. A Marost és a Tiszát kísérő alluviumokon (Marosszög, Torontál, Bánát) a rendkívül magas agyagtartalom felelős a belvizek kialakulásáért. Itt egyaránt előfordulnak talajvíz eredetű és öszszegyülekezési belvizek. A Tiszától nyugatra főként homok és homokos vályog fizikai féleségű üledékeket találunk, s itt a belvíz fő okaként a homokhátság alól kiáramló vizek felelősek. A mintaterület nyugati határának kijelölésénél fontos szempont volt, hogy ne csak a belvízveszélyes területeket monitoringozzuk, hanem azokat a magasabban fekvő tápláló területeket is, melyek emelkedő talajvízszintjei vélhetően korábban jelzik a belvízhelyzet kialakulását. Itt, Ásotthalom és Kissor környékén tehát belvíz megjelenésére kevésbé számíthatunk, sőt az extrém csapadékos évek (pl. 2010) kivételével súlyos vízhiányokkal küzd a terület. A vajdasági figyelőhálózattal együtt itt akár a szabadkai vízkivétel miatti depresszió kimutatására is lehetőség nyílna.

Módszerek

Kúthálózat kijelölése

Talajvíz modellezés során a vizsgált környezet megismerésének lehetőségei korlátozottak, hiszen a vizsgálat tárgya szinte sohasem ismert teljes egészében (Bárdossy et al. 2002). A talajvízmodellezés megbízhatóságának kardinális tényezője a reprezentatív monitoring hálózat kialakítása. A monitoring hálózat kialakítása a MERIEXWA (HUSRB/1202/121/087) szerb-magyar projekt keretében valósult meg 2012-2013 során.

Geostatistikai értelemben a talajvíz megfigyelés akkor tekinthető megbízhatónak, ha

Na aluvijumu koji prati Moriš i Tisu (Pomorišje, Torontal, Banat) izuzetno veliki sadržaj gline je odgovoran za formiranje suvišnih unutrašnjih voda. Ovde se podjednako javljaju suvišne unutrašnje vode poreklom od podzemnih voda kao i od površinskog nakupljanja. Zapadno od Tise uglavno nalazimo fizičke tipove sedimenta peska i peskovitog lesa i ovde su za pojavu suvišnih unutrašnjih voda odgovorne vode koje izbijaju ispod peščare. Kod označavanja zapadne granice istraživanog područja važan aspekt je bio da se ne vrši monitoring samo područja ugroženih suvišnim unutrašnjim vodama, već i ona područja prihranjivanja koja leže na većim visinama, gde rastući nivo podzemnih voda vrlo verovatno nagoveštava pojavu suvišnih unutrašnjih voda. Ovde u okolini Ašothaloma i Kišora se dakle na pojavu suvišnih unutrašnjih voda može računati u manjoj meri, čak se sa izuzetkom ekstremno vlažnih godina (npr. 2010) ovaj prostor suočava sa teškom nestašicom vode. Zajedno sa mernom mrežom u Vojvodini otvara se mogućnost i za iskazivanje depresije nastale crpljenjem vode u okolini Subotice.

Metodi

Označavanje mreže bunara

Prilikom modeliranja podzemnih voda, mogućnosti za upoznavanje okoline istraživanog područja su ograničene, pošto se predmet proučavanja retko poznaje u celosti (Bárdossy et al. 2002). Najznačajniji faktor modeliranja podzemnih voda je formiranje reprezentativne mreže za monitoring. Izgradnja mreže za monitoring ostvarena je u okviru srpsko-mađarskog projekta MERIEXWA (HUSRB/1202/121/087) tokom 2012-2013.

U geostatističkom smislu osmatranje suvišnih unutrašnjih voda se može smatrati pouzdanim, ako informacije koje potiču od

a mintázási stratégiából származó információk valósághűen jellemzik a talajvízszintet (Bárdossy et al. 2002). Következésképpen, a kúthálózat kialakítási stratégia és a mérési intervallumok sűrűsége kritikus meghatározói a becslés megbízhatóságának (Geiger 2007). A mintavételi stratégia kialakításakor figyelembe kell venni (1) az egyes földtani képződmények méretét, alakját, térbeli elhelyezkedését (2) a képződmény tulajdonságainak térbeli eloszlását és változékonyságát, a tulajdonságok hatástávolságát és anizotrópiáját, továbbá (3) további földtani folyamatok, szerkezetek és környezeti hatótényezők hatásait (Füst és Geiger 2011). A határ mindkét oldalán 25-25 kút elhelyezését úgy terveztük meg, hogy a már meglévő országos talajvízszint-monitoring mintaterületre eső kutakkal egységes talajvízszint- és belvíz előrejelző rendszert alkossanak.

Egyetemi fejlesztésű szenzorhálózat

A vízszintregisztráló két fő komponensből épül fel. Egy PROTON mote, mely az adatokat tárolja, és a számítógéppel a kommunikációt valósítja meg. A másik egy akusztikus szenzorkártya, mely 4 szenzorral endelkezik: hőmérséklet és páratartalom érzékelő, hangszóró és mikrofon. A két részből felépülő mérő egy hangjelet bocsát ki, mely a csőben lefelé halad, ameddig el nem éri a talajvíz szintjét, ahonnan visszaverődve megint eléri a mikrofont és ezután rögzíti a hangkiadástól eltelt időt. A szenzor minden mérésnél egy 1 ezredmásodperces hangot (kattanást) ad ki a hangszórón, majd 16666 Hz-es hangfelvételt készít. A hangfelvételtől egy egyszerű digitális szűrővel állapítjuk meg a visszhang visszatérési idejét (tudjuk a hangforrás frekvenciáját, és gyorsan felfutó jelerősséget keresünk). A digitális szűrő három visszaverési időt keres (range), és mindegyikhez hozzárendeli az ott észlelhető hangerősség növekedést jellemző

strategije uzorkovanja koje verodostojno predstavljaju nivo podzemnih voda (Bárdossy et al. 2002). Shodnotome, strategija formiranja mreže bunara i gustina intervala merenja su kritični faktori pouzdanosti procene (Geiger 2007). Prilikom formiranja strategije uzimanja uzoraka moraju se uzeti u obzir (1) razmere, oblik i prostorni položaj pojedinih geoloških struktura (2) prostorni raspored osobina geoloških struktura, prostornu disperziju promenljivosti, udaljenost uticaja određenih osobina i anizotropiju, kao i (3) uticaj ostalih geoloških procesa, struktura i drugih faktora (Füst i Geiger 2011). Položaje 25-25 bunara sa obe strane granice postavili smo tako, da čine jedinstveni sistem za prognoziranje nivoa podzemnih voda i pojave suvišnih unutrašnjih voda sa već postojećom državnom mrežom bunara za monitoring nivoa podzemnih voda na istraživanom području.

Mreža senzora razvijena na fakultetu

Merač nivoa podzemne vode sastavljen je od dve glavne komponente. Jedan PROTON modul, koji skladišti podatke i ostvaruje komunikaciju sa računarom. Drugi je jedna akusitična senzorska kartica, koja raspolaže sa 4 senzora za temperaturu i vlažnost vazduha, zvučnik i mikrofon. Merač sastavljen od dve komponente emituje zvučni signal koji prolazi kroz cev na dole, dok ne stigne do nivoa podzemne vode, odakle se odbija i ponovo stiže u mikrofon nakon čega se beleži vreme proteklo od davanja zvučnog signala. Senzor prilikom svakog merenja emituje zvuk od hiljaditog dela sekunde (klik) kroz zvučnik i zatim snima zvučni zapis na 16666 Hz. Od zvučnog zapisa se sa jednim jednostavnim digitalnim filterom određuje vreme dolaska odjeka (poznata je frekvencija izvora zvuka i traži se naglo rastuća jačina signala). Digitalni filter traži tri vremena odbijanja (range), i uz svaki dodeljuje broj koji označava porast

számot (score). A mérés eredményét az eszköz a belső flash memóriájában tárolja.

Az adatok geostatistikai feldolgozásának szempontjai

A megfigyelések és a mérések megbízhatóságát a vizsgált területen a humán és műszaki tényezők (időszakos öntözés, szivattyúzás) kis léptékben jelentősen befolyásolhatják (Rakonczai 2011) azáltal, hogy egy adott talajvízmérő állomás adatsorát torzítyják. Mérési hibákat okozhatnak továbbá az alkalmazott szenzorok meghibásodásai. Mindezek a térbeli modellezés során a ténylegesnél nagyobb kiterjedésű depressziós tölcserként jelentkeznek. Az említett hibák esetünkben a folyamatosan végzett méréseknek köszönhetően (ismételt mintavételezés) a talajvíz idősorokban könnyedén felismerhetők. A hibák egyszerű statisztika módszerekkel szűrhetők. Az egyes kutakhoz tartozó adatsorok térbeli illetve adott momentumához tartozó matematikai jellegeből (kiugró értékek, eloszlásvizsgálatok, interpolációs segédadatok bevonásának eldöntése, csoportosítás) messzemenő földrajzi következtetések vonhatók le.

Az információk térbeli kiterjesztésének megbízhatósága során figyelembe kell venni, hogy a vizsgált földtani közeg térben nem homogén, következésképpen a hidrogeológiai paraméterek térbeli változékonysága komolyan befolyásolja a talajvíz áramlási viszonyait. Ugyan a mintaterület pontos, determinisztikus leírása a cél, ez a gyakorlatban a megismerhetőség korlátai miatt szinte kivitelezhetetlen (Caers 2005).

A hidrológiai modellezés során talán legtöbb problémával járó feladat a helyes modellalkotás. A talajvízszint geostatistikai értelemben véletlen változó (Delhomme 1978). Az egyes megfigyelések egy bizonyos térbeli törvényszerűség alapján kor-

jačine zvuka (score). Rezultat merenja se skladišti u fleš memoriji.

Geostatistički aspekti obrade podataka

Antropogeni i tehnički faktori (povremeno navodnjavanje, crpljenje vode) u značajnoj meri mogu uticati na pouzdanost merenja i osmatranja na istraživanom području, tako što izobličavaju vremensku seriju podataka. Dalje greške u merenju mogu uzrokovati kvarovi na primenjenim mernim uređajima. Sve one se prilikom prostornog modeliranja prikazuju kao levkaste depresije veće od stvarnih. Navedene greške se u našem slučaju zahvaljujući stalno vršenim merenjima lako mogu prepoznati. Greške se mogu filtrirati pomoću jednostavnih statističkih metoda. Prema matematičkim karakteristikama (ekstremne vrednosti, analiza distribucije, interpolirani pomoćni podaci, grupisanje) serije podataka koji pripadaju pojedinačnim bunarima, moguće je doći do dalekosežnih geografskih zaključaka.

Prilikom utvrđivanja pouzdanosti prostornog rasporeda treba uzeti u obzir da se proučavana geološka sredina u prostoru nije homogena i da stoga prostorna promenljivost hidroloških parametara ozbiljno uslovljava uslove strujanja podzemnih voda.

Iako je cilj tačan i deterministički opis istraživanog područja, u praksi je ovo zbog spoznajnih granica skoro neizvodljivo (Caers 2005).

U hidrološkom modeliranju je zadatak za koji je vezano možda najviše problema je pravilna izrada modela. Nivo podzemnih voda je u geostatističkom smislu slučajna promenljiva (Delhomme 1978). Pojedina osmatranja koreliraju na osnovu određene prostorne pravilnosti (de Marsily 1986). Nasuprot bilo kojem drugom postupku, interpolacija krigingom može da uzme u obzir ove prostorne strukture pomoću modela

relálnak (de Marsily 1986). Bármely más eljárással ellentétben a krígelési interpolátor az adatsorok adott momentumának variogrammodelljei által alkalmas ennek a térbeli struktúrának a figyelembevételére. A krígelés elsősorban a talajvízvágyon változásának becslésére alkalmas, mivel a talajvízszint legjobb lokális, lineáris becslését eredményezi az adatponti hibák varianciájának minimalizálása által. Ugyanakkor a krígelés megbízhatóságát (a krígelési súlyokat) az adatpontok geometriai struktúrája jelentősen befolyásolja (Geiger 2012).

A talajvíz modellezés során a kialakított mérőállomásokban történő becslési hiba minimalizálása helyett az ismeretlen gridpontokban történő megbízható becslés illetve a becslés bizonytalanságának számszerűsítése a cél. A sztochasztikus Gaussi szimuláció során nagyszámú, alternatív, de egyenlően valószínű becslés készül, dinamikusan változó geometriai struktúrájú adatponti információk felhasználásával. A változó geometriát egy véletlenszerűen generált bejárési úton keresztül, a már előzőleg megbecsült gridponti értékeknek a következő gridpont egyszerű krígelésbe történő folyamatos bevonása jelenti (Caers 2005). A nagyszámú sztochasztikus kép gridpontonkénti becslési értékeinek eloszlásából egyfelől meghatározható a becslés konfidencia intervalluma (adott szignifikancia szinthez tartozó megbízhatósága), másrészt a talajvíz várható értéke.

Korábbi tanulmányok (Pálfai 1994, Rakonczai 2011) alapján a talajvíz és a topográfia között szignifikáns kapcsolat feltételezhető. A térbeli kiterjesztéskor tehát digitális domborzatmodellek a becslési eredményeket jelentősen javítják. A nagyszámú geostatistikai megoldás közül a kokrígelés, azon belül pedig, a nagy információtartalmú, szabályosan mintázott másodlagos adat bevonását megkönnyítő Markov

variograma određenih momenata iz serije podataka. Kriging je pogodan pre svega za procenu promene zaliha podzemnih voda, jer rezultira u najboljoj lokalnoj, linearnoj proceni kroz minimalizaciju grešaka varijancije niza podataka. U isto vreme geometrijska struktura tačaka sa podacima značajno utiče na pouzdanost kriginga (težine kriginga) (Geiger 2012).

Prilikom modeliranja podzemnih voda, umesto minimalizacije greške procene na mernim stanicama cilj je pouzdana procena na nepoznatim tačkama grida (mreže) ili numeričko iskazivanje neodređenosti procene. Stohastička Gausova simulacija daje veliki broj alternativnih ali podjednako verovatnih procena, korišćenjem informacija vezanih za tačke sa dinamičkim promenljivim strukturama geometrije. Promenljiva geometrija podrazumeva neprekidno uvođenje u jednostavni kriging jedne slučajno generisane i unapred procenjene tačke grida (Caers 2005). Na osnovu distribucije procenjene vrednosti tačaka grida iz velikog broja stohastičkih slika, sa jedne strane se dobija interval pouzdanosti (pouzdanost koja pripada određenom nivou signifikancije), a sa druge strane očekivana vrednost podzemne vode.

Na osnovu ranijih studija (Pálfai 1994, Rakonczai 2011) između podzemne vode i topografske površine se može pretpostaviti značajna povezanost. Stoga prilikom prostorne analize digitalni elevacioni modeli (DEM) značajno popravljaju rezultate procene. Od mnogobrojnih postojećih geostatističkih rešenja, koristimo kokriging, unutar kojeg Markov 2 model (Journel 1999) koji olakšava uvođenje velike količine informacija i pravilno uzorkovane sekundarne podatke. Za obavljanje kokriginga potrebno je modelovanje variograma (1) podzemne vode, (2) između DEM-a i podzemne vode (3) i DEM-a. Pošto se podzemna voda

2. Modellt (Journel 1999) alkalmazzuk. A kokrigelés elvégzéséhez szükség van (1) a talajvíz, (2) a talajvíz-DDM között fennálló illetve (3) a DDM variogrammjának modellezésére. Mivel a talajvíz időben folyamatosan változik, ezért talajvíz modellezésnél az 1. és 2. modellt minden egyes momentumra fel kell állítani. Ellentétben a talajvízkutak térbeli elhelyezkedésével, a DDM információ-tartalma egységes lefedésű, félvariogramja sokkal megbízhatóbbnak (reprezentatívabbnak) tekinthető, illetve hosszabb idő során is állandónak tekinthető. A kollokált kokrigelés Markov 2. modellel történő elvégzésekor a talajvíz variogram modellje és a talajvíz-DDM kereszt félvariogram modellje a DDM-ből, valamint a talajvíz adatokból analitikusan következik (Journel 1999). Kokrigelés során a GsLib függvénycsomag NEWCOKB3D algoritmusát, szekvenciális koszimulációnál az SGSIM_FC módosított verziója alkalmazható.

A talajvíz adott momentumának becslése a következő lépésekből áll:

1. Az adathibák statisztikai elemzése (kiugró értékek szűrése), hiányos és hibás adatok becslése
2. A Markov 2. Modellhez szükséges paraméterek megállapítása az egyes momentumokra:
 - a DDM és a talajvíz szintek között fennálló lineáris regressziós kapcsolat
 - a talajvíz varianciája
 - a DDM és a talajvíz között fennálló korrelációs együttható megállapítása
3. A Markov 2. Modell alkalmazásával: a talajvíz valamint a kereszt-félvariogram modellezése
4. gsLib paraméterfájlok generálása
5. A talajvíz adatok hisztogramjainak simítása, a simított adatok normal score transzformációja

stálno menja u vremenu, zbog toga se kod modelovanja podzemne vode modeli 1. i 2. moraju postaviti za svaki pojedinačni momenat. Nasuprot prostornom rasporedu pijezometara, informacioni sadržaj DEM-a je jedinstvenog prostiranja, njegov semivariogram se može smatrati mnogo pouzdanijim (reprezentativnijim), odnosno može se smatrati konstantnim i za duži vremenski period. Kod izvršavanja Markov 2. modela sa kolociranim kokrigingom, model variograma podzemnih voda i ukršteni model semivariograma DEM-a i podzemnih voda analitički proizilazi iz DEM-a, kao i podataka o podzemnim vodama (Journel 1999). Prilikom kokriginga može se primeniti NEWCOKB3D algoritam iz GsLib paketa funkcija, a kod sekvencijalne kosimulacije se može primeniti modifikovana verzija SGSIM_FC.

Procena momenta podzemnih voda sastoji se od sledećih koraka:

1. Statistička analiza podataka (filtriranje ekstremnih vrednosti)
2. Ustanovljavanje parametara potrebnih za Markov 2. model za pojedine momente:
 - linearno-regresiona veza koja postoji između nivoa podzemnih voda i DEM-a
 - varijancija podzemnih voda
 - određivanje korelacionog koeficijenta između podzemnih voda i DEM-a
3. Primenom Markov 2. modela: modeliranje podzemnih voda kao i ukrštenog semivariograma
4. generisanja fajlova parametara za gsLib
5. Poravnavanje histograma za podatke o podzemnim vodama, *normal score* transformacija poravnatih podataka.
6. U slučaju stohastičke kosimulacije izrada velikog broja realizacija nivoa podzemnih voda, a u slučaju kriginga izvođenje interpolacije.

6. Sztochasztikus ko-szimuláció esetén a talajvízszint nagy számú realizációjának előállítása krígelés esetén az interpoláció végrehajtása
7. A kapott adatok *normal score* visszatranszformációja
8. Az adatok utófeldolgozása
 - várható érték típusú becslés
 - konfidencia intervallumok meghatározása
7. *Normal score* povratna transformacija dobijenih podataka
8. Naknadna obrada podataka
 - procena očekivane vrednosti
 - određivanje intervala pouzdanosti

Rezultati

Posle ekstremno suvih godina 2011-2012, na zimu 2012 se čak i na područjima najviše ugroženim suvišnim unutrašnjim vodama (Torontal, Pomorišje) nivo podzemnih voda oborio ispod 3-3,5 m, a na višim delovima peščare (Ašothalom i okolina) ustalio ispod 5 m. Prvi kvartal izuzetno kišne 2013 godine je doneo neočekivani preokret u formiranju nivoa podzemnih voda: između 15. marta i 10. aprila za nešto više od 3 nedelje dogodilo se izdizanje nivoa podzemne vode od 1,5 – 2 m na velikoj većini mernih bunara (Slika 6.23a). Preduslov za ovo su bile obilne padavine, na batidskoj mernoj stanici ATI-VIZIG u januaru je zabeleženo 43 mm, februaru 52 mm a u martu 108 mm (!) padavina. Pored toga su u brzom izdizanju nivoa vode značajnu ulogu igrale blizina nivoa podzemnih voda površini kao i geološka struktura.

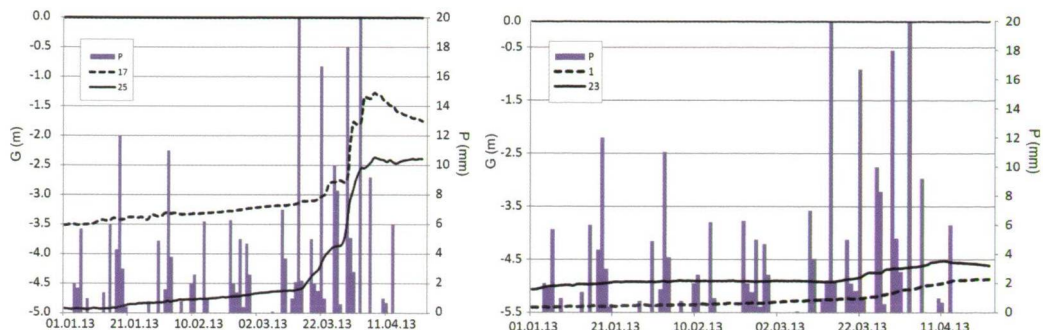
U slučaju nekoliko bunara promena nije bila toliko markantna, prolećno izdizanje je bilo manje za jedan red veličine, sa maksimalnom vrednošću od nekoliko desetina cm. Razlozi za ovo su da se kod dubljih izdani uticaj padavina javlja prigušeno, kao i različite morfološke strukture i propusna moć sedimenata blizu površine. Zahvaljujući pomenutim faktorima, i u slučajevima bunara sa vrlo različitim hidrološkim osobinama dobijene su slične krive kretanja (Slika 6.23b).

Bunar kod Ašothaloma prikazan na slici 6.23b. se spušta u peskoviti geološki član velike propusne moći, ali istovremeno zbog velike dubine i jakog bočnog oticanja uticaj padavina je ovde bio jedva osetan. Kriva

Eredmények

A szélsőségesen száraz 2011-2012-es évek után 2012 telére még a belvizek által legveszélyeztetettebb területeken (Torontál, Marosszög) is 3-3,5 m alá süllyedt a talajvízszint, a homokhátság magasabb részein (pl. Ásotthalom környékén) pedig 5 m alatt állandósult. A csapadékban rendkívül gazdag 2013-as első negyedév nem várt fordulatot hozott a talajvíztükör alakulásában: március 15. és április 10. között bő 3 hét alatt 1,5-2 m-es vízszintemelkedés következett be a kutak döntő többségénél (6.23a. ábra). Ennek egyik feltétele a bőséges csapadékhullás volt, az ATI-VIZIG batidai mérőállomásán januárban 43 mm, februárban 52 mm, márciusban pedig 108(!) mm csapadékot regisztráltak. Emellett a felszínhez közeli talajvíztükör és a földtani felépítés is jelentős szerepet játszott a gyors vízszintemelkedésben.

Néhány kút esetében nem volt ilyen markáns a változás, a tavaszi vízszintemelkedés egy nagyságrenddel kisebb volt, néhány tíz cm-ben maximalizálható. Ennek okai, hogy mélyebb talajvízszint esetén a csapadék hatása később és tompítva jelentkezik, az eltérő morfológiai helyzet és a felszín közeli üledékek vízáteresztő képessége miatt. A felsorolt tényezőknek köszönhetően mérőben más hidrologiai helyzetű kutak esetében is hasonló menetgörbét tapasztaltunk (6.23b. ábra).



6.23. ábra a) Két marosszögi kút és b) az 1-es sz. ásothalmi és a 23-as sz. marosszögi kút vízszintváltozása 2013 elején (P: csapadék)

Slika 6.23 a) Dva bunara iz Pomorišja i b) Bunari 1. iz Ásothalom i 23. iz pomorišja za vreme početka promene nivoa vode 2013 (P: padavina)

Fig. 6.23 Water level changes in the beginning of 2013 in: a) two wells in Marosszög b) Ásothalom, well no. 1, and Marosszög, well no. 23 (P: precipitation)

Az 6.23b. ábrán bemutatott ásothalmi kút nagy vízáteresztő képességű homokos összetételű mélyűlt, ugyanakkor a mély talajvízszint és a jelentős oldalirányú eláramlás miatt itt a csapadékok alig éreztették a hatásukat. Érdekes módon ezen kút menetgörbéjéhez a marosszögi 23-as kúté hasonlított a legjobban, mely egy mélyfekvésű, mátrixában vegyes agyagos-

kretanja nivoa vode na ovom bunaru na zanimljiv način najviše podseća na bunar 23 u Pomorišju, sa područja čija je struktura izgrađena od mešovutih glinovito-muljevitih-peskovitih rečnih sedimenata.

U slučaju ovog poslednjeg nedvosmisleno je da odlučujuću ulogu igra slaba propusna moć slojeva blizu površine: bunar je postavljen na osnovu Pergerovog plana, i na geološkoj



6.24. ábra: Összegyülekezési belvíz és nyomai a 23-as kút közelében

Slika 6.24. Tragovi plavljenja suvišnim unutrašnjim vodom nastalim površinskim nakupljanjem u blizini bunara 23

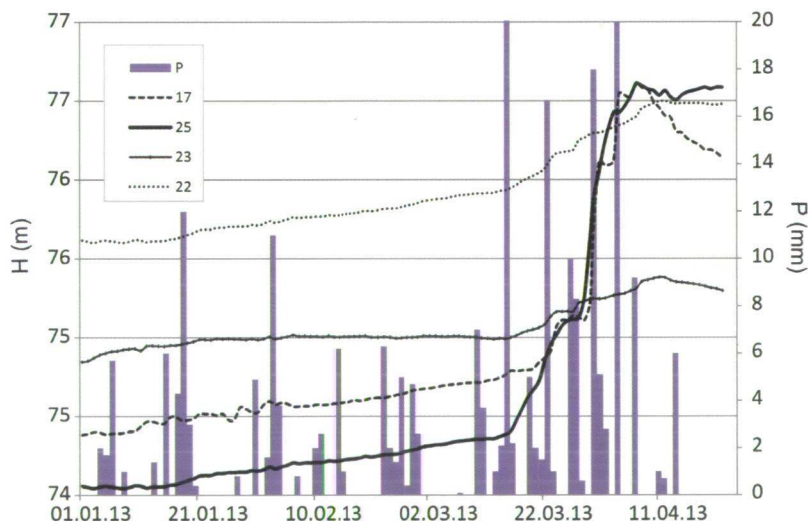
Fig. 6.24. Accumulative inland excess water and its traces near well no. 23

iszapos-homokos folyóvízi üledékekből felépülő térszínen található.

Ez utóbbi esetében egyértelműen a felszín közeli rétegek gyenge vízvezető képessége játssza a döntő szerepet: a kút kijelölését a Perger-terv alapján végeztük, s a sekély-földtani térkép alapján egy, a környezeténél agyagosabb felépítésű területen található. Ezt támasztják alá terepi megfigyeléseink is, a kút körüli szántóföldeken még április végén is belvízfoltokkal találkoztunk (6.24. ábra). Az összegyülekezési belvizekre láthattunk itt jó példát, ugyanis a belvízfoltok alatt a kút víz-

karti plitkog sloja se nalazi na glinovitim području u odnosu na okolinu. Ovo potvrđuju i naša terenska istraživanja, na poljima u okolini bunara smo nalazili tačke preplavljene suvišnim unutrašnjim vodom (Slika 6.24) čak i krajem aprila. Ovo je bio dobar primer suvišnih unutrašnjih voda nastalih površinskim nakupljanjem vode, naime ispod površine prekrivene vodom nivo vode u bunaru je bio i tada skoro 4 metara ispod površine.

Isti ovaj bunar pokazuje važnost optimizacije mreže bunara kao i prostornog modeliranja.



6.25. ábra A marosszögi mintaterület északi részén elhelyezkedő négy kút abszolút vízszintjei (P: csapadék)

Slika 6.25 Apsolutne visine nivoa vode u četiri bunara sa ispitivanog područja u Pomorišju (P: padavina)

Fig. 6.25 Absolute water levels of the four wells situated in the north of Marosszög project area (P: precipitation)

szintje még ekkor is közel 4 m-es mélységben volt a felszíntől.

Ugyanezen kút rávilágít a kúthálózat optimalizációjának, illetve a térbeli modellezésnek a fontosságára is. A 6.25. ábrán a 23-as kútnak, illetve az öt körülvevő három kútnak az abszolút vízszintjeit tüntettük fel. Az utánpótlódási időszak kezdetén a korábban tárgyalt két kút vízszintje lényegesen alacsonyabb tengerszint feletti magasságban volt, s – a hasonló relatív

Na slici 6.25 bunar 23, kao i tri druga bunara u njegovom okruženju navedene su apsolutne visine nivoa vode. Na početku perioda popunjavanja na prethodno pomenutim bunarima nivo vode je bio na značajno nižim nadmorskim visinama – uprkos sličnoj relativnoj dubini nivoa – u roku od nekoliko nedelja su stekli „prednost” od 1-1,5 m, stvarajući time svojevrsnu depresiju velikih razmera u podzemnim vodama u okolini bunara 23.

víztükör ellenére – néhány hét leforgása alatt mintegy 1-1,5 m-es „előnyre” tettek szert, sajátos, nagy kiterjedésű talajvízdepressziót hozva ezzel létre a 23-as kút környezetében.

A monitoring rendszer tapasztalatai és további lehetőségek

A talajvíz-megfigyelő hálózat és a talajvíz szintjét modellező teljes magyar-szerb rendszer működésének 1-1,5 éves időtartama alatt szélsőséges időjárási helyzetekben és ennek következtében kialakuló belvizes vagy aszályos időszakban még nem vizsgázott. A korábban ismertetett – néhány kútra vonatkozó – eredmények azonban azt mutatják, hogy az újszerű mérési, adattovábbítási és adatfeldolgozási rendszer megfelel az elvárásoknak. További feladat az egyetemi működtetésű hálózat integrálása a magyar és a szerb vízügyi szervek által működtetett regionális rendszerekbe és az egységes monitoring rendszer jövőbeli hosszú időtávú, megbízható és hatékony működtetése, amellyel érdemben hozzájárulhatunk a klímaváltozás hatásainak tudományos vizsgálatához a Dél-Alföldi és Észak-Vajdasági régióban.

6.4. A vegetáció változásának monitorozási lehetőségei

Kovács Ferenc

Bevezetés

A Duna-Tisza köze alapvetően érzékeny a változásokra, az éghajlati vízhiány mellett a szélsőségeket itt a homokfelszín is erősíti. Korábbi elemzés szerint a Duna-Tisza közének erdeinél a tájökológiai érték csökkenése várható (Mezősi et al. 1996). A hazai klímaszcenárióban az erdők 80 %-án csökken a biomassza (Lasch et al. 2002). Az erdő az alföldi ökoszisztémák közül a legkiegyensúlyozottabb és a természeteshez legközelebb álló növénytakarulás, annak elle-

Iskustva sistema monitoringa i dalje mogućnosti

Mreža bunara za osmatranje i sistem za modeliranje nivoa podzemnih voda za vreme rada od 1-1,5 godine još nisu položili ispit u uslovima ekstremnih vremenskih uslova i njima prouzrokovanih pojava suvišnih unutrašnjih voda ili suše. Ranije prikazani rezultati koji se odnose na nekoliko bunara međutim pokazuju, da novi metodi merenja, prenosa i obrade podataka odgovaraju očekivanjima. Dalji zadatak je integracija fakultetske mreže u regionalne sisteme koji rade u okviru mađarskih i srpskih vodoprivrednih organizacija i jedinstveni sistem za monitoring, za buduće dugoročno, pouzdano funkcionisanje, koji može da značajno doprinese naučnom proučavanju klimatskih promena u regijama južne Mađarske ravnice i severa Vojvodine.

6.4. Potencijali monitoringa vegetacije

Kovács Ferenc

Uvod

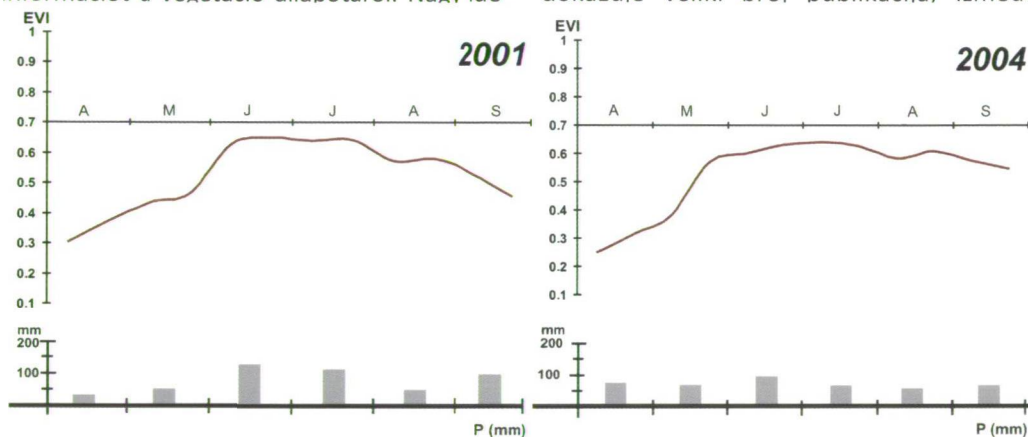
Međurečje Dunava i Tise je u osnovi osetljivo na promene, pored klimatskog deficita vode ekstreme ovde pojačava i peščana površina. Prema ranijim analizama kod šuma međurečja Dunava i Tise se može očekivati pad predeone-ekološke vrednosti šuma (Mezősi et al. 1996). Kod domaćih klimatskih scenarija na 80% šuma će se smanjiti biomasa (Lasch et al. 2002). Šuma je najuravnoteženija i prirodnom najbliža od svih ravničarskih ekosistema, uprkos tome što prirodne šume i zasadi čine 20-25% nizijskih šuma (Járó 2000). Dobro čuvaju vlažnost, tako da odgovaraju iskazivanju kontinuirane suše. Za monitoring vegetacije

nére, hogy a természetszerű és járadékterdők az alföldi erdők maximum 20-25%-át teszik ki (Járó 2000). A nedvességet jól konzerválják, így alkalmasak a tartós szárazság kimutatására.

A vegetáció megfigyelésére a világon számos vegetációs indexet alkalmaznak. Az Európai Aszály Megfigyelő Rendszer (European Drought Observatory (EDO)) például fAPAR anomáliát értékel, hogy távérzékeléssel adjon napra kész információt a vegetáció állapotáról. Nagy idő-

se u svetu koriste brojni vegetacioni indeksi. Evropski sistem za monitoring suše.

(European Drought Observatory (EDO)) na primer procenjuje fAPAR anomalije, da bi pomoću daljinske detekcije dala aktuelne izveštaje o stanju vegetacije. Podaci sa velikom vremenskom rezolucijom su na primer nizovi podataka NDVI i EVI indeksa sa MODIS senzora, čiju širinu primene dokazuie veliki broj publikacija, između



6.26. ábra. Az EVI index értékekből rajzolt görbe lefutása egy illancsi erdőfolt esetében 2001 és 2004 vegetációs periódusában

Slika 6.26. Sekvenca krive nacrtane na osnovu vrednosti EVI indeksa u slučaju jedne šume kod Illanca u vegetacionom periodu 2001 i 2004 godine.

Fig. 6.26. The shape of the curve drawn from the values of EVI index for a forest patch in Illancs in the vegetation period of 2001 and 2004

felbontású adatok például a MODIS szenzor NDVI és EVI index adatsorai, melyek széles körű alkalmazhatóságát számos publikáció bizonyítja, többek között Magyarországra a szélerózió (Mezősi et al. 2013), a vizes területek változásai (Kovács 2007) és az aszályérzékenység (Ladányi et al. 2011) kapcsán is elemzésre kerültek. A vegetációs index adatokból rajzolt éves görbék számított paramétereiből (görbe alatti terület, meredekség, lefutás, amplitúdó) különböző fenológiai változásokra (aszály, kártervők, tarvágás) is lehet következtetni (6.26. ábra).

ostalog u Mađarskoj gde su vršene analize vezano za eolsku eroziju (Mezősi et al. 2013), promene vodenih površina (Kovács 2007), osetljivosti na sušu (Ladányi et al. 2011). Na osnovu parametara (površina ispod krive, nagib, redosled, amplituda) izračunatih pomoću krivih koje su nacrtane prema godišnjim podacima vegetacionog indeksa mogu se pretpostaviti razne fenološke promene (suša, štetočine, krčenje) (Slika 6.26).

Módszerek

Jelen tanulmányban Duna-Tisza közí mintaterületen telepített erdők vízhánnal szembeni érzékenységét vizsgáltuk MODIS NDVI index adatok alapján. A cél a természetes vízellátottság változásának megfigyelése volt a Duna-Tisza közí síkvidék erdeinél a 2000–2011 közötti időtartam nyári féléveire. A kis geometriai felbontású képek cellái közül csak azokat pixeleket vettük figyelembe, amelyek a szempontunkból fontos felszínfedettség által legalább 60–65 %-ban fedettek. A mintaterületen az alacsony erdősültség (14 %) és a heterogén területhasználat ezért az alkalmazott képek mellett alapvetően háromféle felszínfedettség elemzésére került sor: lombhullató, tűlevelű és vegyes erdő kategóriák.

Az USGS Data Pool adatbázisából letölthető 250 m-es részletességű, 16 napos összegzésű MODIS vegetációs index képeken (NDVI, EVI indexek) a CLC50 térkép alapján határoltuk le az erdőterületeket és értékeltük a vegetációs dinamikát. A műholdkép alapú indexekkel nagy területekről, magas térbeli adatsűrűséggel értékelhető a vízhánn miatti stresszhatás. A teljes 12 év 16 napos NDVI és EVI képekre készített átlag-, szélső-, vagy összértékre alapozott értékelés mellett úgynevezett átlagképeket készítettünk az egyes felszín-fedettségi osztályokra. A referenciaszinttől való eltérés időbeli és térbeli vizsgálata segíti a biomasszamennyiség-csökkenés miatt veszélyben lévő területek kijelölését. Az eltérések a potenciálisan csökkenő csapadék hatására adott vegetációs válaszként prognosztizálhatók. A vizsgált időszakban megvizsgáltuk nagy területet érintő változásokat (erdőgazdálkodás) az 1:100.000-es CLC2000 és CLC2006 térképezések alapján. A felszín fedettségi változások térbeli lehatárolásait az eredmények pontosításánál figyelembe vettük. A felszín fedettségi változások (fakivágás, beépítés) és az alacsony vegetációs index értékek átfedése nagyon alacsony volt.

Metodi

U trenutnoj studiji na istraživanom području međurečja Dunava i Tise ispitivali smo osetljivost šuma na deficit vode na osnovu podataka MODIS NDVI indeksa. Cilj je bio posmatranje promena prirodnog snabdevanja vodom kod šuma na ravnica međurečja Dunava i Tise za period letnjih polugodišta 2001-2011. Kod slika sa malom geometrijskom rezolucijom uzeli smo u obzir samo one piksele, koji su sa stanovišta nama važnog površinskog pokrivača pokrivene 60-65%. Na istraživanom području je niska pošumljenost (14%) i heterogeno korišćenje zemljišta zbog čega su kod analiziranih slika u osnovi ispitane tri tipa površine: kategorije listopadnih, četinarskih i mešovitih šuma.

Na slikama MODIS vegetacionog indeksa (NDVI, EVI indeksi) za 16 dnevne sume koji se mogu preuzeti iz USGS Data Pool baze podataka na osnovu CLC50 karte smo označili šumske površine i procenili smo dinamiku vegetacije. Pomoću indeksa zasnovanih na satelitskoj slici može se proceniti uticaj stresa koji se javlja zbog nedostatka vode na velikoj površini i sa visokom prostornom rezolucijom podataka. Pored procena koje smo izvršili na osnovu proseka, ekstremnih i sumarnih vrednosti cele 12 godišnje i 16 dnevne serije NDVI i EVI slika pripremili smo tzv. prosečne slike za pojedine kategorije tipa površinskog pokrivača. Prostorna i vremenska analiza odstupanja od referentnog nivoa pomaže označavanje područja koje su u opasnosti zbog gubitka biomase. Odstupanja se mogu prognozirati kao odgovori vegetacije na potencijalno smanjivanje padavina. U ispitivanom periodu analizirali smo promene koje zahvataju velike površine (gazdovanje šumama) na osnovu kartiranja CLC2000 i CLC2006 od 1:100.000. Prostorne granice površinskih promena smo uzeli u obzir kod preciziranja rezultata. Prostorno preklapanje između površinskih promena (seča šuma, gradnja) i vrednosti vegetacionog indeksa je bilo vrlo malo.

A vegetáció állapotának jellemzése a 2000–2011 közötti időszakban

A biomasza-potenciál alakulásánál négy hónap (májustól augusztusig) a mérvadó. Az aszályveszély a magas hőmérsékletű július-augusztusban a legjelentősebb. Az átlagos állapotokat tekintve (eleve alacsony értékek) veszélyeztetettek az Illancs elegyes erdői, a Kecskeméttől délre lévő túlevelűek jelentős része. A minimum érték térképek alapján az Illancs középső és DNY-i részei, a Pilis-Alpári-homokháton és a Kisunsági-homokháton az É-i részek, DDNY-i Dorozsma-Majsai-homokhát a legkevésbé aszályveszélyes területek.

EVI csökkenés jelei 2001–2004, illetve 2006–2009 között mutatkoznak, de elegyes és fenyőerdőket nézve utóbbi inkább 2006–2011! A fenyőnél mondható ki az NDVI 2005–2009-es csökkenése. A túlevelű erdő EVI és NDVI átlagai a 2004–2006, illetve a 2010. év hatásai ellenére sem mutatnak pozitív jellegű trendet a 12 év alatt. A 2004. márciustól jellemző kedvező, csapadékosabb állapot főleg az NDVI-nél emelkedik ki, de 2007. évre lecsökken. 2010 hiába döntött rekordokat csapadékban, nem mutat kiugró vegetációs eredményeket. A területre jellemző vízhiányt is mutatja; hogy csapadékosabb évek után következő száraz év hatása azonnal visszaveti a zöldtömeget. Az aszályhajlam fokozódásával egyre több, a 2000, 2007, illetve 2011. évhez hasonló helyzet alakulhat ki! A lomblevelű EVI, NDVI március-április időszaki adatok szerint igazolódhatnak a melegedés miatt egyre korábbi kizöldülést prognosztizáló elemzések (a hosszabbodó vegetációs időszak elmélet a szeptemberi adatok alapján nem igazolódik) (6.27. ábra).

A változékonyság a vegetációnak a környezeti hatásokra adott gyors válaszát feltételezi. Az évek közti változások egy évtizedes időtávban kiegyenlíthetnek és hosszú távon ugyan stabil állapotúnak tűnik, de rövid időtartamon belül rendkívül sérülékeny, aszályra

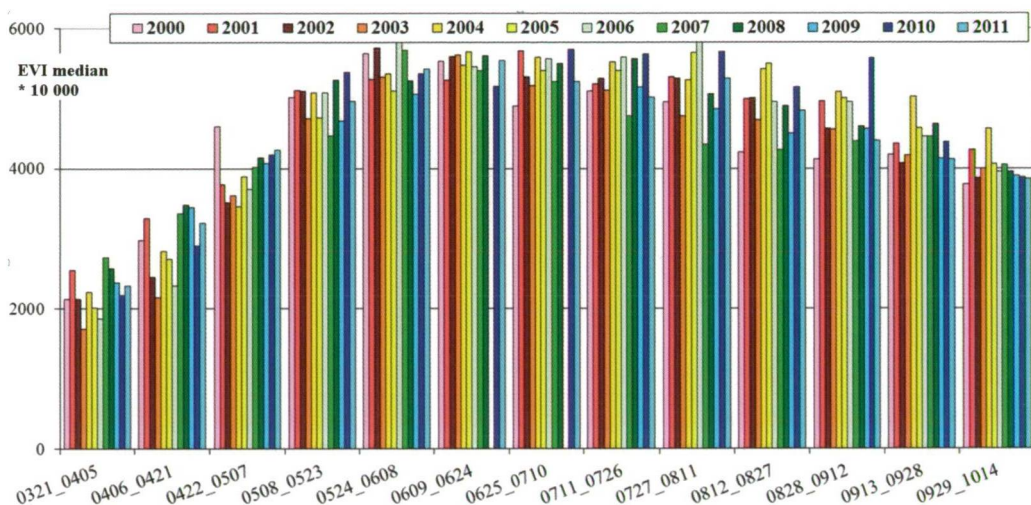
Opis stanja vegetacije u periodu između 2000-2011

Kod formiranja potencijala biomase četiri meseca (od maja do avgusta) su merodavna. Opasnost od suše je najznačajnija u julu i avgustu koji imaju visoke temperature. Posmatrajući opšte stanje (niske vrednosti po sebi) ugrožene su mešovite šume llanč-a, i značajan deo četinaru južno od Kečkemeta. Na osnovu karte minimuma središnji i JZ delovi llanča, S delovi Piliš-alparske pešcare i pešcare Kiškunšaga, JJZ Dorožmansko-majšanske pešcare su najmanje ugrožene sušama. Znakovi smanjenja EVI se pokazuju između 2001–2004, odnosno 2006–2009, ali posmatrajući mešovite i četinarske šume više u 2006-2011! Kod četinaru se može iskazati smanjenje NDVI-a između 2005-2009. Proseci EVI i NDVI četinaru se uprkos uticajima godina 2004-2006, odnosno 2010 ne pokazuju pozitivan predznak tokom 12 godina. Povoljnije stanje sa više padavina od marta 2004. se naročito ističe kod NDVI, ali do 2007. se smanjuje. Uzalud je 2010 oborila rekorde u padavinama, ne pokazuje veće vegetacione rezultate. Ovo Pokazuje i deficit vode koji je tipičan za oblast; da se nakon kišnijih godina naredna sušna godina odmah može potisnuti masu zelenila. Povećanjem sušnosti sve više se mogu javiti stanja slična godinama 2000, 2007 odnosno 2011! Prema podacima EVI, NDVI listopadnih šuma za mart-april mogu se ostvariti analize koje prognoziraju sve ranije ozelenjavanje zbog zagrevanja (hipoteza produženog vegetacionog perioda se ne potvrđuje na osnovu septembarskih podataka) Slika 6.27.

Promenljivost pretpostavlja brz odgovor vegetacije na uticaje okoline. Promene po godinama iz decenijske perspektive se mogu izjednačiti i na duži rok se može činiti da je stanje stabilno, ali unutar kraćeg vremenskog trajanja je izuzetno ranjiv period podlozan

hajlamos időszak. Ez az évek esetében 2000, 2003, 2007, 2011-nél, a hónapoknál április, július és augusztus esetében jól látszódik.

uticaju suše. U slučaju godina 2000, 2003, 2007, 2011, a kod meseci u aprilu, julu i avgustu je ovo dobro vidljivo.



6.27. ábra Lomblevelű EVI medián értékek alakulása a 2000–2011 közötti időszakban
Slika 6.27. kretanje srednjih vrednosti EVI za listopadne šume u periodu od 2000 do 2011

Fig. 6.27. EVI median values for deciduous forests for the period of 2000-2011

Az átlagtól való eltérés vizsgálata térben és időben

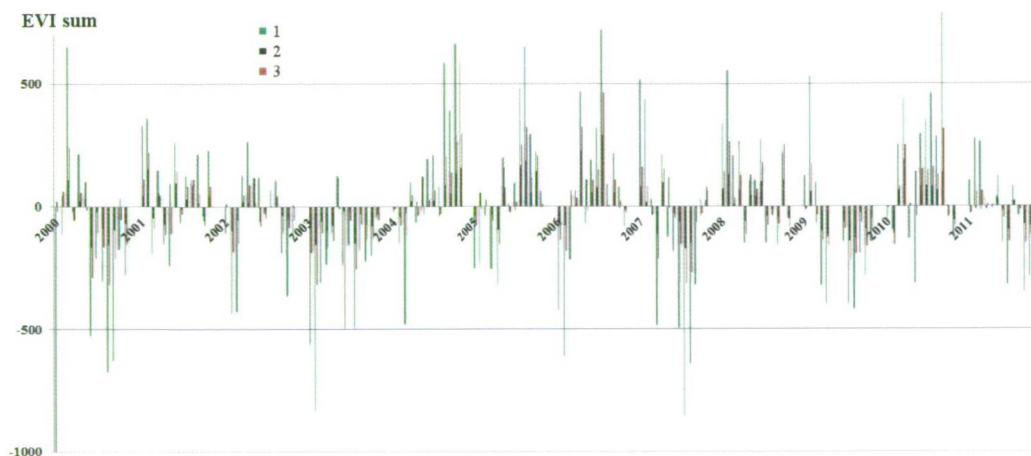
A 2000, 2002, 2003, 2007, 2009, 2011 évek (vagyis az évek fele) negatív eltéréseket mutató évek, valamennyi erdő esetében. 2000 és 2003 negatív eltérése kiemelkedő. Pozitív irányban 2004–2006, mint három jó év emelhető ki. Az EVI 16 napos periódusokat megvizsgálva augusztustól októberig a negatív eltérés jellemzőbb, míg április-május a pozitív eltérésekben jellemzőbb (6.28. ábra).

Legnagyobb negatív és pozitív eltérések július-augusztus hónapokban és tavasszal vannak. Legnagyobb pozitív, ill. negatív eltérés ugyanazon időszakban 2006.07 ill. 2007.07 között! Az a terület, amelyik az átlagolás ellenére negatív értékkel bír a vizsgált időszak alatt, az a klímaváltozás szempontjából veszélyeztetetnek mondható.

Prostorna i vremenska analiza odstupanja od proseka

Godine 2000, 2002, 2003, 2007, 2009, 2011 (odnosno njihova polovina) pokazuju negativna odstupanja, u slučaju nekoliko šuma. Negativna odstupanja 2000 i 2003 se ističu. U pozitivnom smeru 2004-2006, sve tri godine se dobro ističu. Analizirajući 16 dnevne EVI periode od avgusta do oktobra je negativno odstupanje karakterističnije, dok je za april-maj tipičnije pozitivno odstupanje (Slika 6.28).

Najveća negativna i pozitivna odstupanja su u mesecima julu-avgustu i u proleće. Najveće pozitivno, odnosno negativno odstupanje se javlja unutar istog perioda između 07. 2006. odnosno 07.2007.! Područje koje uprkos uprosečenim vrednostima ima negativne vrednosti u toku ispitivanog perioda se može



6.28. ábra EVI eltérések összege 2000–2011 között a különböző fásszáruak esetében
(1: lombos erdő; 2: tűlevelű erdő; 3: elegyes erdő)

Slika 6.28. suma EVI odstupanja između 2000–2011 u slučaju raznih drvenastih biljaka
(1: listopadna šuma; 2: zimzelena šuma; 3: mesovita šuma)

Fig. 6.28. The sum of EVI deviations for 2000–2011 for the various forests
(1: deciduous forest; 2: coniferous forest; 3: mixed forest)

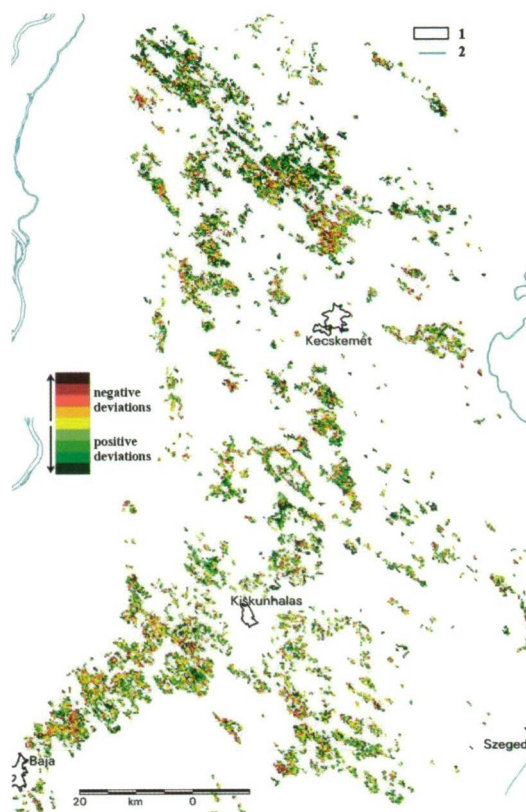
Összesen 17.944 ha-on van jelentős és annál nagyobb negatív EVI eltérés, ami 14,1%-os arány. A különböző hatások figyelembevétele miatt az átlagot minden egyes cellánál a teljes időtartamra számoltuk, de befolyásolhatják a negatív értékek megjelenését a fakivágások, beépítések. Az előbbi 14,1 %-os arányt mutató negatív EVI eltérés térképet és az antropogén eredetű tartós (beépítés) és ideiglenes (erdőgazdaság) erdőcsökkenést mutató térképet metszve 20 %-os közös fedettséget találunk. Ha ezzel módosítjuk az előbbi eredményt, akkor 11,3 % van a legnagyobb veszélyben. Az Illancson az erdőterület 18 %-a veszélyeztetett, míg például a Bugaci-homokhát helyzete jónak mondható (6.29. ábra).

A lomblevelű erdők 14 %-a veszélyeztetett az NDVI szerint. 5 %-on jelentősebb negatív eltérés tapasztalható. A lomblevelűek az NDVI szerint kevésbé veszélyeztetettek, mint az EVI szerint. Legrosszabb itt is az elegyes erdők helyzete, ahol a negatív eltérés a terület 30 %-án figyelhető meg. Pozitív eltérés 20 %-on jellemző. Összterülete révén a lomblevelű

smatrati ugroženim sa aspekta klimatskih promena.

Ukupno na 17.944 ha ima značajno i od toga veće negativno EVI odstupanje, što je odnos od 14,1%. Zbog uzimanja u obzir različitih uticaja, prosek smo kod svake ćelije računali za ceo period, ali pojavu negativnih vrednosti mogu da uzrokuju i seča šuma i izgradnja. Kod preklapanja karte prethodnog negativnog odstupanja EVI koji pokazuje odnos od 14,1% sa kartom trajnih (izgradnja) i privremenih (šumsko gazdovanje) antropogenih promena smanjenja šume dobili smo preklapanje od 20%. Ako prethodni rezultat modifikujemo sa ovim onda je najugroženije 11,3%. Na Ilanču je 18% šumskih površina ugroženo, dok se stanje npr. na Bugac peščari može smatrati dobrim (Slika 6.29)

Kod listopadnih šuma je 14% ugroženo prema NDVI. Na 5% se može iskazati jače negativno odstupanje. Prema NDVI listopadne šume su manje ugrožene nego prema EVI. Najlošije je i ovde stanje mešovitih šuma, gde negativno odstupanje može da se zapazi na 30% područja. Pozitivno odstupanje je prisutno



6.29. ábra Klimatikus érzékenység térbelisége EVI index alapján a 2000-2011 időszakban (1: település; 2: folyó)
Slika 6.29. Prostornost klimatske osetljivosti na osnovu EVI indeksa u periodu od 2000 do 2011 (1: naselje; 2: reka)
Fig. 6.29. Spatial pattern of climate sensitivity based on EVI index for the period of 2000-2011 (1: settlement; 2: river)

erdő mutatja a legnagyobb eltéréseket, de ha területegységre vizsgálódunk, akkor feltűnő az elegyes erdő elsősege.

Összefoglalás

A 3.3 fejezet, valamint a fentebb bemutatott adatok alátámasztják, hogy az aszály előrejelzésében jó potenciálja lehet a térinformatika adta lehetőségekkel feldolgozott műholdfelvétel-adatoknak. Az eredmények pontosításában a jövőben nagy szerepet játszhat az elérhető adatok csökkenő térbeli felbontása. Továbbá más aszályindexek alkalmazása, amelyek alkalmasak az aszály éven belüli idő-

na 20%. Zbog ukupne površine listopadne šume pokazuju najveća odstupanja, ali ako posmatramo jedinicu površine, onda je vrlo primetno prvenstvo mešovitih šuma.

Rezime

Poglavlje 3.3 kao i gore prikazani podaci pokazuju, da u prognozi suše podaci dobijeni obradom satelitskih snimaka pomoću geoinformatičkih metoda imaju dobar potencijal. U preciziranju rezultata u budućnosti će veliku ulogu igrati smanjenje prostorne rezolucije dostupnih podataka. Nadalje primena drugih indeksa suše, koji su

beli kialakulásának monitorozásához, meg-
alapozhatja a vegetáció állapotára vonatkozó
korai figyelmeztető rendszer kidolgozását is.

A bemutatott eredmények alátámasztják,
hogy a mintaterület aszályal való érintettsé-
ge igen jelentős. Mivel a jövőben szaporodó
aszályos évek és az extremitások növekedése
várható modellbecslések alapján, a felkészü-
lés, management, és a megfelelő vízgazdál-
kodási lépések igen fontosak lesznek, és nem
csak a mezőgazdaság, de az erdőgazdálkodás
és a természetvédelem számára is.

pogodni za monitoring pojave suše unutar
godine, može da posluži kao osnova za izradu
sistema ranog upozoravanja koje se odnosi na
stanje vegetacije.

Prikazani rezultati potvrđuju, da je
zahvaćenost istraživanog područja sušom
izuzetno značajna. Pošto se na osnovu
procena modela može očekivati povećanje
broja sušnih godina i ekstremnih pojava,
priprema, upravljanje i odgovarajuće
vodoprivredne mere će biti vrlo važne, ne
samo za poljoprivredu, već i za šumarstvo i
zaštitu životne sredine.